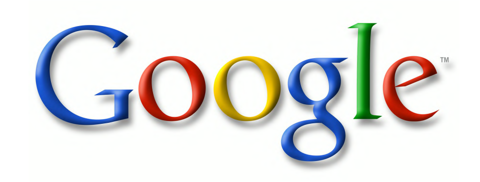
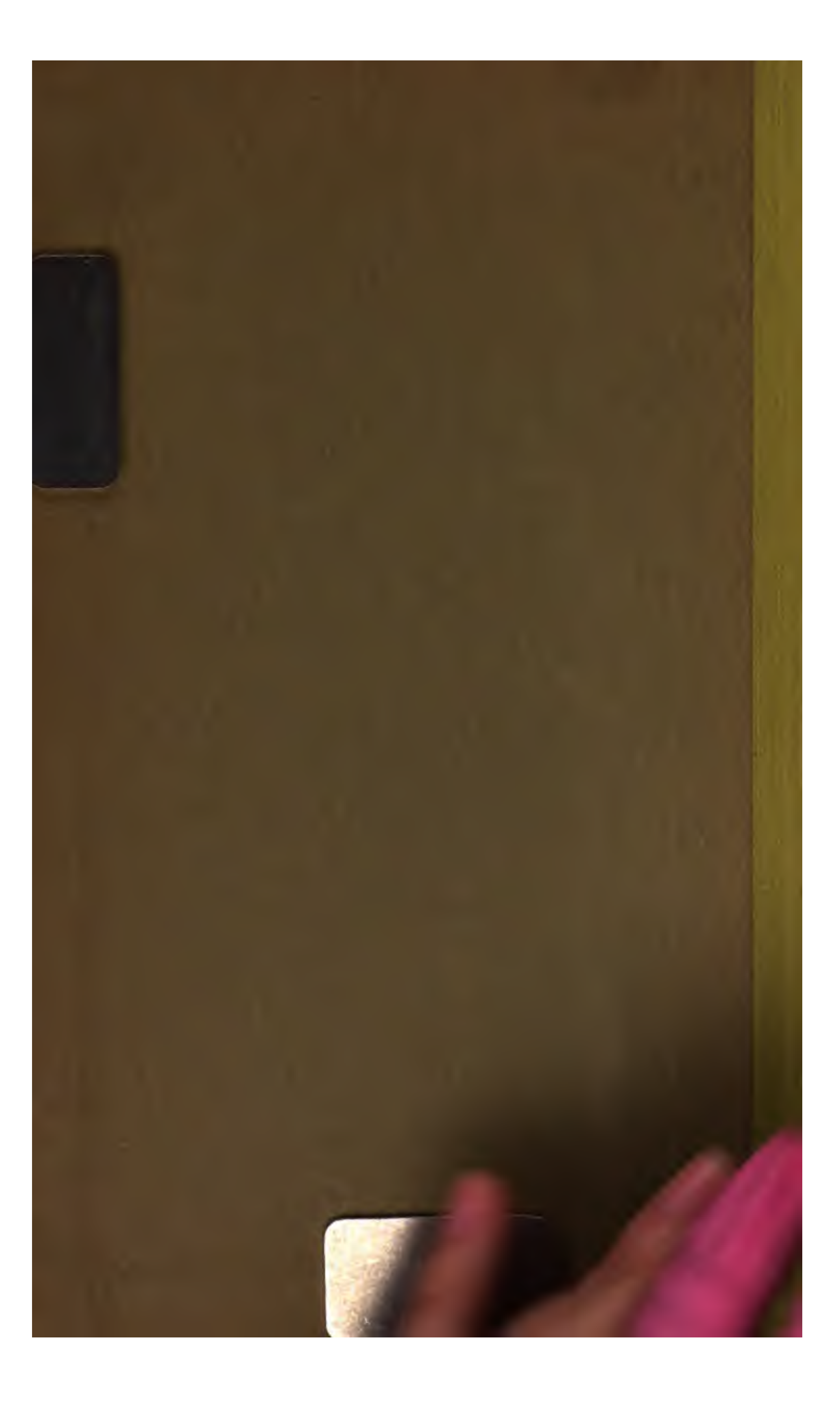



3 3433 06910281 6







STATION DE CHIMIE VÉGÉTALE DE MEUDON
(1883-1899)

CHIMIE VÉGÉTALE
ET AGRICOLE

PAR

M. BERTHELOT

SÉNATEUR, SECRÉTAIRE PERPÉTUEL DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES
PROFESSEUR AU COLLÈGE DE FRANCE

TOME PREMIER

FIXATION DE L'AZOTE LIBRE SUR LA TERRE ET SUR LES VÉGÉTAUX

PARIS

ASSON ET Cie, ÉDITEURS
120, Boulevard Saint-Germain

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS
55, Quai des Grands-Augustins

1899

STATION DE CHIMIE VÉGÉTALE DE MEUDON
(1883-1899)

CHIMIE VÉGÉTALE
ET AGRICOLE

PAR

M. BERTHELOT
SÉNATEUR, SECRÉTAIRE PERPÉTUEL DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES
PROFESSEUR AU COLLÈGE DE FRANCE

TOME PREMIER

FIXATION DE L'AZOTE LIBRE SUR LA TERRE
ET SUR LES VÉGÉTAUX

PARIS
MASSON ET Cie, ÉDITEURS
120, Boulevard Saint-Germain
LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS
55, Quai des Grands-Augustins

1899



PRÉFACE

La Synthèse chimique a réalisé, par le seul jeu des forces physiques et mécaniques dont nous disposons, la combinaison artificielle du carbone, de l'hydrogène, de l'oxygène et de l'azote; elle a formé les principes hydrocarbonés les plus simples et les plus importants, tels que les carbures d'hydrogène, les alcools, les éthers et les corps gras, les aldéhydes, les acides, les alcalis : nul d'ailleurs ne doute aujourd'hui que tous les autres composés organiques ne soient fabriqués, un jour ou l'autre, par l'art des laboratoires. Ces progrès, longtemps réputés impossibles, puis contestés au début, dans leur portée ou dans leur réalité même, sont définitivement accomplis et acquis à la science.

Qu'il me soit permis de rappeler que mes travaux personnels, poursuivis sans relâche depuis l'année 1853, ont été de quelque utilité pour la réalisation à la fois expérimentale et théorique de cette grande œuvre scientifique. C'est ainsi que j'ai effectué, par des méthodes générales, la synthèse des carbures d'hydrogène et des alcools, bases de toutes les autres formations. Je suis arrivé à ces résultats en prenant d'abord comme points de départ l'oxyde de carbone, l'acide carbonique et l'eau, c'est-à-dire les composés minéraux simples sur lesquels opèrent les organismes végétaux; depuis j'ai combiné directement, sous l'influence de l'électricité, les éléments,

carbone et hydrogène : ce qui a formé l'acétylène, et j'ai construit avec ce premier carbure les autres carbures d'hydrogène fondamentaux, par voie de condensation directe et de combinaison réciproque. Par le concours de l'électricité, j'ai également combiné l'azote libre, jusque-là réputé si réfractaire, d'abord avec l'acétylène, pour fabriquer l'acide cyanhydrique, puis avec tous les autres principes organiques, tant naturels qu'artificiels.

Le problème général des méthodes de synthèse des composés constitutifs des êtres vivants et des corps qui en dérivent se trouve donc aujourd'hui résolu.

Mais la production des principes immédiats qui constituent la trame des organes s'y accomplit dans des circonstances fort différentes, en apparence du moins, de celles que nous faisons intervenir dans nos synthèses. Elle a lieu dès la température ordinaire, au sein de l'eau, ou de tissus imprégnés d'eau, sans l'intervention sensible de réactions énergiques. Bref, l'étude de ces formations constitue une question nouvelle, non moins capitale que celle des synthèses de laboratoire, et dont l'examen est lié étroitement avec la connaissance des conditions de l'entretien de la vie et de sa génération même. Dès 1860, après avoir posé le problème de la synthèse purement chimique, dans ma *Chimie organique fondée sur la synthèse*, et exposé les méthodes générales par lesquelles on peut l'aborder, j'ai signalé en même temps toute l'importance de la synthèse biologique (t. II, p. 789 et suivantes) : je veux dire la synthèse opérée dans des conditions compatibles avec les phénomènes naturels de la vie, et mieux encore, dans les conditions qui président à ces phénomènes.

Cependant les ressources expérimentales m'avaient manqué pendant longtemps pour suivre, — d'une façon méthodique et avec les outils chaque jour plus puis-

sants que les progrès concurrents de la Chimie, de la Physique et de la Physiologie mettent à la disposition de la science moderne, — la réalisation de ces idées, non moins fécondes dans les applications agricoles que dans la science pure. En effet, une semblable étude ne peut pas être exécutée à l'intérieur d'un laboratoire de chimie et au milieu d'une grande ville, telle que Paris; car elle exige la culture de champs d'expériences d'une certaine étendue. Ce sont là des moyens d'action que les chimistes proprement dits n'ont guère eu à leur disposition jusqu'à ce jour. Enfin j'ai réussi, dans ces dernières années, à obtenir du Parlement et du Ministre de l'Instruction publique les locaux et le matériel indispensables pour entreprendre ce nouvel ordre de travaux. Un emplacement a été mis à ma disposition, sur des terrains dépendant de l'ancien château de Meudon, ruiné à la fin de la guerre de 1870.

Donnons d'abord quelques renseignements sur l'organisation de la Station de Chimie végétale, avant de parler des recherches dont elle a fourni les instruments. Un domaine contigu à la terrasse de l'ancien château, désigné sous le nom de la Glacière et couvrant une surface de quatre hectares et demi, était demeuré abandonné pendant treize ans, lorsqu'un décret rendu en janvier 1883 l'a affecté à la fondation d'une Station de Chimie végétale, annexée à la chaire de Chimie organique du Collège de France, chaire dont je suis titulaire depuis 1865.

Voici le texte du décret relatif à cette fondation (*Journal officiel* du 18 janvier 1883):

LE PRÉSIDENT DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE,

Sur le rapport du Ministre de l'Instruction publique et des Beaux-Arts;

Vu l'avis favorable exprimé par le Ministre des Finances, dans sa lettre du 30 décembre 1882;

Décrète :

Art. 1er. — L'immeuble appartenant à l'État, désigné sous le nom d' « Enclos de la Glacière », dépendant autrefois du château de Meudon (Seine-et-Oise), est affecté au Ministre de l'Instruction publique, pour l'installation d'une Station de Chimie végétale, annexée à la Chaire de Chimie organique du Collège de France.

Art. 2. — Le Ministre de l'Instruction publique et des Beaux-Arts est chargé de l'exécution du présent décret, qui sera inséré au *Bulletin des lois*.

Fait à Paris, le 17 janvier 1883.

Jules Grévy.

Le Ministre de l'Instruction publique et des Beaux-Arts,

Duvaux.

Quelques hectares boisés ont été adjoints à cette station, comme complément nécessaire.

Cette fondation a été accomplie avec les ressources du Ministère de l'Instruction publique. En outre le Ministère de l'Agriculture a bien voulu concourir aux dépenses du laboratoire par une subvention annuelle, qui a permis de donner aux recherches les développements indispensables.

C'est avec ce double appui qu'ont été exécutées la longue série d'observations et d'expériences sur la fixation de l'azote, la marche générale de la végétation, l'examen de la terre végétale et l'étude de la formation des principes immédiats des plantes; enfin les études sur les sucres et hydrates de carbone, exposées dans la présente publication. Cet ouvrage en effet est consacré exclusivement à mes travaux personnels, dirigés par un dessein précis et des méthodes générales. J'ose espérer que les résultats qui y sont consignés justifieront à la fois le long effort des seize années que j'y ai consacrées et les sacrifices demandés à l'État.

J'ai signalé chaque année, depuis 1884, ces résultats

dans les séances de l'Académie des Sciences et de la Société nationale d'Agriculture : les résumés en ont été publiés au fur et à mesure. Le détail même des expériences et analyses a été exposé en son temps dans les *Annales de Physique et Chimie*. Mais le moment est venu de réunir dans une publication unique ces mémoires disséminés, de façon à en montrer l'ensemble et le système coordonné.

Voici le plan de la présente publication, c'est-à-dire l'indication des travaux scientifiques réalisés dans la Station de Chimie végétale de Meudon, depuis seize ans. La portion fondamentale de ces expériences a roulé sur l'étude de la fixation de l'azote libre de l'atmosphère par la terre et par les végétaux, sous l'influence des microrganismes contenus dans le sol et sous l'action de l'électricité atmosphérique silencieuse.

Les découvertes que j'ai faites à cet égard ont changé de fond en comble les idées reçues et enseignées par les savants les plus autorisés sur le rôle négatif de l'azote atmosphérique libre dans la végétation. Une révolution aussi profonde ne saurait s'accomplir sans quelque résistance, de la part des esprits accoutumés aux doctrines qu'elle vient renverser. Aussi a-t-elle suscité des discussions prolongées.

En effet, on enseignait partout, il y a quelques années, que l'azote libre de l'atmosphère ne joue aucun rôle ni en végétation ni en agriculture. C'était la doctrine classique depuis trente ans, à part quelques protestations isolées. A l'heure présente, cette doctrine paraît, au contraire, abandonnée de tous. Un si grand changement dans l'opinion des savants a été provoqué par mes recherches, poursuivies depuis 1883 et publiées depuis 1885 pendant sept années, tant sur la terre nue que sur la terre pourvue de végétaux : je les ai exécutées avec un enchaînement méthodique, une variété d'expériences et une multipli-

cité de contrôles, qu'il ne m'appartient pas d'apprécier. En effet j'ai établi d'abord que certaines terres nues (c'est-à-dire pourvues de leurs microbes), sables argileux d'abord, puis terres végétales proprement dites, avaient la faculté de fixer l'azote, aussi bien en l'absence des végétaux supérieurs qu'avec le concours de ceux-ci.

J'ai établi en outre, par des cultures spéciales en milieux nutritifs artificiels, que le développement des microbes fixateurs d'azote est corrélatif de la décomposition de certains principes organiques exempts d'azote.

C'est ainsi que mes recherches en ont suscité d'autres, qui en ont vérifié les résultats généraux, en même temps qu'elles conduisaient à d'autres découvertes originales.

En premier lieu, à la suite de mes premiers travaux, l'influence des Légumineuses sur la fixation de l'azote, affirmée depuis si longtemps par M. G. Ville, qui n'avait réussi à convaincre personne, a été retrouvée, avec une signification imprévue, par moi-même et par MM. Hellriegel et Willfarth, éclairés par mes découvertes antérieures sur les microbes du sol, et qui en ont tiré aussitôt parti, dans le cours de leurs propres recherches sur le mécanisme de l'assimilation de l'azote par les Légumineuses.

J'avais montré que cette première fixation par le sol s'opère sous l'influence de certains microbes de l'ordre des bactéries : MM. Hellriegel et Willfarth, ainsi que MM. Bréal et Prazmowski, ont confirmé et précisé le rôle de ces microbes, en tant que donnant lieu, par leur parasitisme sur les racines de Légumineuses, à une véritable symbiose, ou vie commune aux bactéries de la terre et à la plante.

L'ensemble et la concordance de ces découvertes ont constitué une doctrine nouvelle, relative au fait fondamental de la fixation de l'azote libre de l'atmosphère

par le concours des matières organiques du sol et des êtres vivants. J'en réclame l'initiative, sans méconnaître d'ailleurs ni l'importance des travaux des autres expérimentateurs, ni les points si intéressants qui restent à éclaircir avec le concours du temps : tout problème résolu dans la science en suscite de nouveaux et de plus étendus.

Ainsi la question de la fixation de l'azote dans la nature se présente sous des points de vue divers et distincts des influences microbiennes : je les avais déjà abordés, avant même de soupçonner ces dernières. Dès 1876, j'avais reconnu une autre cause, non moins essentielle, de fixation de l'azote, à savoir les réactions accomplies avec le concours de l'électricité silencieuse. Ces réactions ont lieu dans les laboratoires, sous l'influence de l'effluve électrique ; et elles s'accomplissent dans la nature, sous une semblable influence, exercée sur les végétaux par l'électricité atmosphérique à faible tension : je veux dire l'électricité silencieuse, dont l'action est toute différente de celle des éclairs et décharges disruptives, bruyantes et lumineuses, susceptibles, comme on le sait depuis un siècle, d'agir comme sources locales et intermittentes d'acide azotique : c'était la seule cause envisagée jusque-là ; mais ses effets sont bien minimes. Au contraire, l'action de l'électricité atmosphérique silencieuse pour fixer l'azote, phénomène qui s'exerce en tout temps et en tous lieux, était ignorée avant mes travaux ; quoique son efficacité soit vraisemblablement beaucoup plus considérable, en raison de son universalité.

J'ai également abordé une troisième cause de fixation de l'azote, celle-ci purement chimique, à savoir la fixation de l'azote dans les oxydations accomplies à la température ordinaire. Elle semble offrir plus d'une relation avec la fixation opérée par les microbes. Ceux-ci en effet agissent nécessairement par des voies chimi-

ques, pareilles, sans doute, à celles des fermentations oxydantes, et accomplies probablement aussi par l'intermédiaire de certains principes actifs, capables de s'unir à l'azote et de le transmettre aux composés hydrocarbonés de la terre et des plantes. Mais c'est là un sujet tout neuf et que je n'ai pu qu'entrevoir jusqu'ici.

Telles sont les matières traitées dans le tome Ier du présent ouvrage. En en poursuivant l'étude et pour mieux les éclaircir, j'ai été conduit à en aborder diverses autres : les expériences qui les concernent sont exposées dans les tomes suivants.

Ainsi, le second volume contient mes *recherches sur la marche générale de la végétation*. Elles fournissent en quelque sorte l'*équation chimique pondérale d'une plante annuelle*, pendant toute son évolution, depuis la semence initiale, mise en terre, jusqu'au moment où la semence finale est reproduite par le végétal arrivé au terme de son développement. C'est là un sujet qui n'avait pas été jusqu'à présent traité d'une façon méthodique, malgré son extrême importance.

C'est un devoir agréable pour moi de rappeler ici que les expériences sur ces questions ont été exécutées avec la collaboration dévouée de mon ami, M. G. André, associé depuis vingt ans à mon labeur et à mes publications, avec un zèle et un dévouement qui ne se sont jamais ralentis. Il a également pris part à plusieurs des études consignées dans le troisième volume, et à celles de la première partie du quatrième.

Le troisième volume en effet est consacré à des sujets connexes : *recherches spéciales sur la végétation et ses produits*. On y examine la présence et la distribution de certains éléments spéciaux dans les plantes, tels que le soufre, le phosphore, le silicium ; la formation et la répartition des azotates dans les végétaux, question con-

génère de la fixation de l'azote ; la formation de l'acide oxalique et des carbonates; l'émission de l'acide carbonique et l'absorption de l'oxygène par les feuilles.

J'y traite ensuite de la décomposition des sucres par voie purement chimique, avec production d'acide carbonique ; de la production de l'alcool par l'électrolyse des sucres, réaction qui n'est pas sans analogie avec la production du même alcool par fermentation ; de la fermentation du sang, qui présente certaines ressemblances avec la production de l'urée aux dépens des albuminoïdes, etc.

Une partie spéciale de ce volume renferme les observations et expériences que j'ai exécutées à différentes époques, depuis 1860, sur les principes définis, doués de la double propriété de se combiner avec l'oxygène libre et de la céder ensuite à des corps que cet oxygène n'oxyderait pas directement : phénomène lié à la fois avec les fermentations oxydantes et avec la fixation microbienne de l'azote.

Le quatrième volume comprend deux parties très distinctes : l'une générale, relative à la terre végétale, l'autre plus spéciale relative au vin. Dans la première partie j'étudie la *terre végétale*, au double point de vue de l'existence et de la constitution des principes organiques qui en forment la base, et de leurs relations avec l'ammoniaque atmosphérique, question toujours connexe de la fixation de l'azote.

J'y décris également les méthodes nouvelles que j'ai instituées, avec la collaboration de M. André, pour le dosage des divers éléments volatils de la terre et des végétaux, tels que l'azote, le phosphore, le soufre, ainsi que pour le dosage de ses éléments minéraux, potassium et autres métaux alcalins et terreux, etc. Ces méthodes ont concouru à modifier les anciens procédés d'analyse agricole et les notions sur lesquelles étaient fondés les

anciens dosages du potassium, du soufre et du phosphore, éléments dont l'importance est si grande pour le développement des végétaux, ainsi que pour les problèmes concernant la nature et la proportion des engrais qui concourent à exciter ce développement.

Je terminerai le quatrième volume par l'exposé des études que j'ai faites depuis 1858, sur les vins : j'y traite de la formation des éthers que les vins renferment, de l'oxydation des vins, de leur bouquet, de leurs changements annuels et séculaires, enfin du dosage de l'acide tartrique et de la crème de tartre qu'ils contiennent.

Tel est le contenu du présent ouvrage, essentiellement constitué par des recherches personnelles et originales. J'ose espérer que le lecteur voudra bien en reconnaître l'intérêt : au double point de vue de la science pure, d'une part, c'est-à-dire des relations qui existent entre les phénomènes d'ordre chimique et les phénomènes d'ordre biologique, dans les végétaux ; et, d'autre part, au point de vue des applications de ces phénomènes à l'agriculture et aux industries qui en dérivent, pour le profit de la race humaine.

TABLE DES DIVISIONS

DU TOME I

FIXATION DE L'AZOTE ATMOSPHÉRIQUE DE LA TERRE ET DES VÉGÉTAUX

LIVRE I

Fixation microbienne de l'azote atmosphérique sur la terre et sur les végétaux.

LIVRE II

Fixation continue de l'azote libre sur les composés organiques et sur les végétaux, sous l'influence de l'électricité atmosphérique à faible tension.

LIVRE III

CHIMIE VÉGÉTALE ET AGRICOLE

STATION DE CHIMIE VÉGÉTALE DE MEUDON

1883-1899

CHAPITRE PRÉLIMINAIRE

LA STATION DE CHIMIE VÉGÉTALE DE MEUDON

Avant d'entrer dans l'exposé détaillé des expériences, il paraît indispensable de parler en premier lieu, brièvement d'ailleurs, des laboratoires et des champs de culture de la station de Chimie végétale de Meudon : la fondation même en a été racontée dans la Préface.

LABORATOIRES ET BATIMENTS D'EXPÉRIENCES

Sur les terrains en friche on a commencé par construire deux laboratoires, disposés comme il suit.

Le premier et le plus complet est formé par une petite maison, formée de deux étages et d'un sous-sol ; l'édifice est long de $10^m,50$, large de $9^m,50$.

I. — Le *rez-de-chaussée* est occupé par quatre chambres.

1° La principale est une grande pièce, occupant toute la largeur, à façade vitrée tournée vers le levant. Elle constitue le laboratoire principal : laboratoire bien éclairé, pourvu de gaz et d'eau, muni de tous les appareils et vases nécessaires pour les préparations et analyses organiques et minérales,

par combustions, par liqueurs titrées et par pesées, ainsi que pour les analyses gazeuses sur la cuve à mercure, pour les calcinations à feu nu et chauffages au bain d'huile de tubes, scellés, etc. Le tout est disposé pour le travail commode du directeur et de deux préparateurs, chacun trouvant immédiatement sous sa main et sans dérangement tous les outils des manipulations courantes.

2° A côté du laboratoire, une pièce pour les balances et les observations microscopiques.

3° et 4° Deux autres petites chambres constituent le logement du garçon de laboratoire, gardien de l'immeuble.

II. — Au *premier étage*, cinq chambres, savoir :

1° Un bureau de travail, avec bibliothèque spéciale pour la chimie végétale.

2° Une pièce renfermant les produits chimiques purs, et les collections de principes organiques, nécessaires pour les études et comparaisons.

3° Une pièce contenant les principaux instruments relatifs aux études de physicochimie, appareils d'optique et d'électricité, une collection de minéralogie, des vases et tubes gradués, capsules et creusets de platine, d'argent, bassines de nickel, etc.

4° Une pièce susceptible d'être changée en chambre noire pour la spectroscopie, la saccharimétrie, etc.

5° Une pièce pour les études de thermochimie, avec calorimètres, thermomètres, liqueurs titrées, etc.

III. — Le *second étage* contient un réservoir d'eau, destiné à alimenter le laboratoire, et diverses chambres servant de magasin.

IV. — Le *sous-sol*, bien éclairé, renferme le magasin de verrerie, vases et objets divers, une chambre avec alambic pour l'eau distillée et autres distillations, et deux petites caves.

Dans un autre bâtiment se trouve un second laboratoire, affecté à la photographie et aux expériences faites avec le concours de l'électricité, que la station produit elle-même, à l'aide d'un petit moteur à pétrole de deux chevaux, et d'une dynamo qui charge 72 accumulateurs.

L'électricité est mise en œuvre comme productrice d'effluves, d'électrolyse et de lumière.

A côté de ce laboratoire, une grande bibliothèque renferme les ouvrages scientifiques d'un caractère général.

Il a été construit pour le jardinier une petite maison d'habitation, située au fond de l'enclos, au centre des cultures.

Enfin, on a élevé une tour de 28 mètres, destinée à poursuivre des études relatives à l'électricité atmosphérique et à son influence sur la végétation.

CHAMPS DE CULTURE

La station de Chimie végétale comprend des champs de culture naturelle, c'est-à-dire où la végétation est abandonnée à elle-même, et des champs de culture artificielle, où l'on cultive des plantes annuelles et des arbres, en s'attachant spécialement aux espèces utilisées en agriculture.

C'est ainsi que j'ai consacré un *espace clos d'un hectare* environ à cultiver *deux cents espèces de plantes annuelles vivantes*, dans des conditions combinées pour une étude méthodique et approfondie. Je me suis proposé d'avoir continuellement sous la main, pour mes recherches, les principales céréales, légumineuses, plantes fourragères et potagères, et autres végétaux usuels, cultivables en pleine terre dans nos climats et appartenant aux principales familles botaniques.

L'enclos a été partagé en bandes de 25, 50 et 100 mètres carrés, chacune destinée à une espèce définie. En procédant

ainsi, chaque espèce a été cultivée, non à l'état de pieds isolés, comme dans un jardin botanique, mais en quantité suffisante pour procurer à l'expérimentateur les poids de matière qui sont nécessaires, lorsque l'on veut réaliser des analyses quantitatives rigoureuses et complètes, à toutes les périodes de la végétation, depuis l'ensemencement jusqu'à la fin de la vie de la plante. On peut ainsi étudier la vie de celle-ci pendant la germination, l'évolution de la tige et des feuilles, la floraison, la fructification, enfin la marcescence. On possède dès lors toutes les données caractéristiques du cycle de la vie, depuis la graine initiale, que l'on met en terre, jusqu'à la reproduction finale de cette même graine.

On procède d'ailleurs à chaque période par des analyses chimiques quantitatives détaillées, sans se borner à ces réactions et colorations microscopiques, parfois incertaines, et en tout cas purement qualitatives, dont les botanistes proprement dits sont trop souvent forcés de se contenter.

Les espèces qui poussent dans les champs de culture de Meudon sont d'ailleurs assez nombreuses et variées pour constituer une véritable collection vivante, dans laquelle l'expérimentateur peut puiser à son gré et à chaque instant de l'année. Il opère, suivant les cas, sans engrais, ou avec des engrais divers et appropriés.

Une autre région a été affectée à la culture des arbres fruitiers de nos climats et à l'analyse de leurs produits.

Dans une partie du domaine, j'ai disposé une *petite serre vitrée*, utilisée seulement au milieu de l'année ; car elle n'est pas disposée pour le chauffage artificiel des plantes de serre.

Des *abris vitrés*, simplement couverts pour protéger les appareils contre la pluie, sans faire obstacle à la circulation de l'air et à la lumière, permettent d'instituer les expériences spéciales qui conviennent sur des pieds isolés.

Ceux-ci ont été élevés dans des *pots de porcelaine*, susceptibles de contenir quelques kilogrammes d'un sol de composition connue à l'avance. A la fin, on analyse la plante et le sol, s'il y a lieu.

Dans certains essais, faits sur une plus grande échelle, j'ai mis en œuvre de *grands pots de terre vernissée*, renfermant de 30 à 50 kilogrammes de terre végétale, où l'on produisait diverses cultures. Ces pots ont été fabriqués sur mes dessins; on les a posés sur de grands plats, percés d'un trou central, de façon à récolter dans des flacons inférieurs les eaux de drainage, et cela tant à la suite des pluies, dans le cas où les pots étaient à l'air libre, qu'à la suite des arrosages, quand ils étaient sous les abris vitrés. Le dessin de ces appareils sera donné dans le cours du présent ouvrage.

Pour diverses expériences, j'ai cru utile d'opérer la *végétation sous cloche*, dans une atmosphère d'air naturel, soit stagnant, soit renouvelé d'une façon continue, après avoir été privé des traces d'ammoniaque qu'il contenait, et dans quelques cas, d'acide carbonique. Ces expériences ont été faites en plaçant les pots de porcelaine sous des cloches de verre de 50 litres, que j'ai fait fabriquer exprès; cloches rodées soigneusement et fixées par un lutage hermétique, sur le bord également rodé de grandes capsules de verre hémisphériques, dont le fond, pourvu de robinet, recueille les eaux de condensation, développées par la transpiration végétale, ou bien les eaux de drainage. A cet effet, on arrosait le pot de temps à autre par un tube, disposé dans l'orifice supérieur de la cloche ; un autre tube, mis en rapport avec une trompe, permettait de faire circuler dans la cloche un courant d'air continu, qui s'écoulait par un troisième tube.

Enfin, quelques-unes de ces dernières expériences, faites sous cloche, ont été exécutées en opérant la *végétation dans*

un champ électrique à potentiel déterminé. Le dessin de tous ces appareils sera donné.

Une ***tour de 28 mètres*** a servi à des expériences relatives à l'influence de l'électricité naturelle de l'air pour fixer l'azote libre de l'atmosphère, soit sur la terre végétale, exempte de végétaux supérieurs, soit sur les plantes elles-mêmes. A cet effet, les pots remplis de terre nue, ou bien de terre pourvue de végétaux, étaient déposés au sommet de la tour, sur des plateaux soigneusement isolés par des supports de verre, immergés eux-mêmes dans l'acide sulfurique concentré, artifice bien connu des physiciens. On mettait ces pots au potentiel que l'air possédait en haut de la tour (6 à 800 volts en moyenne), en les faisant communiquer électriquement par un fil métallique avec un réservoir d'eau de 50 litres, disposé au sommet de la tour, soigneusement isolé sur des supports de verre et pourvu d'un tuyau horizontal, long de 2 mètres, par lequel l'eau s'écoulait goutte à goutte dans l'air libre; de façon à mettre l'eau du réservoir au même potentiel que la couche atmosphérique où se faisait l'écoulement. Un électromètre Thomson-Mascart permet à chaque instant de mesurer ce potentiel.

Tel est le résumé des dispositions adoptées pour les cultures artificielles de mes expériences. Quant aux cultures naturelles, il suffira de dire en quelques mots qu'elles ont compris:

1° Des espaces en prairies, susceptibles de coupes successives dans le courant de l'année. On peut y récolter soit le foin en masse, avec les espèces multiples des graminées qui le constituent, soit des espèces déterminées et triées séparément;

2° Des espaces couverts de conifères, dont j'ai planté plusieurs centaines de pieds sur des terrains sablonneux et en pente;

3° Plusieurs hectares de terrains, choisis dans l'ancien parc réservé du château, et renfermant diverses essences fores-

tières, telles que chênes, charmes, châtaigniers, etc., abandonnés à leur libre développement.

La terre végétale, tant dans les terrains en culture que dans les prairies et régions forestières, a été de ma part l'objet d'études systématiques et approfondies.

Un espace de quelques centaines de mètres a été laissé en jachère d'une façon permanente, et simplement sarclé, de façon à permettre d'examiner les changements susceptibles de survenir dans la composition de la terre au bout d'un certain nombre d'années. Des échantillons de sols divers, sables et argiles, ont été conservés dans de grands pots, à cet effet, sans aucune végétation et à l'abri de la pluie.

Quant au sol réservé aux cultures, il a été enrichi par places de divers engrais. On a pris d'ailleurs le soin de conserver chaque année les débris de plantes annuelles, à l'exception des matières prélevées pour les analyses. Ces débris sont entassés à mesure, sans qu'aucune matière d'origine animale ou autre y soit ajoutée. On conserve le tas à l'air libre pendant une année, ce qui l'amène à l'état de terreau; l'année suivante, on l'étale sur les terrains mêmes dont il était originaire. Cette disposition empêche le sol d'éprouver une déperdition incessante de matières minérales, par l'effet des récoltes. Il s'enrichit au contraire incessamment en matières organiques, provenant des débris des végétaux annuels. Il s'enrichit, en outre, par l'effet des fumiers et engrais minéraux, que l'on ajoute chaque année en diverses régions des champs de culture, et qui compensent en tout en partie les pertes dues au drainage, ainsi que les analyses permettent de le contrôler.

LIVRE I

FIXATION MICROBIENNE DE L'AZOTE ATMOSPHÉRIQUE SUR LA TERRE ET SUR LES VÉGÉTAUX (1).

INTRODUCTION

Les êtres vivants sont formés par des gaz condensés, tirés de l'atmosphère terrestre : oxygène, azote, hydrogène, et composés du carbone. C'est l'acide carbonique de l'air qui leur fournit le carbone, élément dominant de toute constitution organique ; fixé d'abord par les végétaux, il passe de là dans les animaux. Quant à l'hydrogène, l'eau, empruntée tant à l'atmosphère qu'au sol terrestre, l'apporte en abondance aux êtres vivants ; peut-être aussi, pour une certaine portion, l'ammoniaque de l'air et du sol. L'oxygène, d'autre part, entre dans les organismes vivants sous une triple forme : oxygène libre, oxygène combiné dans l'eau, oxygène combiné dans l'acide carbonique ; dans les trois cas, l'atmosphère en est toujours la source fondamentale.

Reste l'azote, ce lien des autres éléments, cet ingrédient essentiel des principes immédiats qui concourent à la génération des plantes et des animaux, aussi bien qu'à la reproduction incessante de leurs tissus et au développement de

(1) *Comptes rendus de l'Académie des sciences* depuis l'année 1884. — *Annales de chimie et de physique*, 6e série, depuis le tome XIII.

leurs énergies vitales. L'azote ne saurait être fourni que par l'atmosphère; mais jusqu'ici on n'a pas bien su comment il est introduit dans les êtres vivants. S'il est vrai que les animaux soient constitués surtout par des principes azotés, il n'est pas moins certain qu'ils ne les fabriquent point eux-mêmes, de toutes pièces. Les carnivores empruntent l'azote à la chair des herbivores dont ils se nourrissent, et les herbivores à leur tour le prennent aux végétaux. C'est donc à ceux-ci qu'il convient de remonter, pour chercher l'origine première de l'azote des êtres vivants et les mécanismes généraux de sa fixation.

On voit par là pourquoi nulle question n'est plus intéressante en agriculture que celle de l'origine de l'azote des végétaux, source eux-mêmes de la formation des tissus animaux ; nulle question cependant n'est demeurée longtemps plus obscure, malgré cent ans d'expériences et de discussions.

Les composés azotés qui concourent à l'entretien de la vie traversent un cycle continuel de transformations, pendant lesquelles quelque portion de leur azote retourne sans cesse à l'état élémentaire. Ce retour a lieu incessamment, quoique à un faible degré, pendant la nutrition des animaux. Il a lieu d'une façon très manifeste, pendant la germination des graines végétales. Il se produit aussi, et surtout après la mort des êtres vivants, pendant le cours des fermentations et putréfactions qui président à la décomposition finale de leurs principes immédiats.

Ainsi la somme de l'azote combiné dans les êtres vivants ne demeure pas constante ; elle tendrait au contraire à diminuer sans cesse dans la nature, s'il n'y avait pas des causes compensatrices. Il faut donc qu'il existe des actions inverses, capables de fixer l'azote libre qui se trouve dans l'atmosphère.

Mais la seule action de ce genre qui ait été connue jusqu'à ces derniers temps, est la formation de l'acide nitrique par les étincelles électriques, c'est-à-dire par les foudres et les éclairs des orages, action accidentelle et manifestement insuffisante pour expliquer les phénomènes de la végétation naturelle. Ainsi, par exemple, l'azote nitrique formé par l'air de nos climats dans l'espace d'une année (1882-1883) s'est élevé à $3^{kg},85$ par hectare, d'après les observations faites à Montsouris (*Annuaire pour* 1884, p. 386 et 395); tandis qu'il en faudrait 50 à 60 kilogrammes par hectare, pour restituer l'azote enlevé par la récolte annuelle d'une prairie ou d'une forêt. A la vérité, l'étincelle forme également de l'azotite d'ammoniaque, en agissant sur l'azote humide; mais le poids de l'azote ammoniacal qui résulte de cette décomposition de l'eau, serait tout au plus égal à celui de l'azote de l'acide nitreux ou nitrique, formé en même temps. En fait, il lui est fort inférieur, une portion de l'azote nitrique se formant directement dans l'air par l'union de ses éléments libres, lors de l'action de l'étincelle électrique.

La théorie ingénieuse de la circulation de l'ammoniaque entre l'air, les mers et le sol végétal, proposée par M. Schlœsing, paraît très contestable, cet alcali n'existant, à l'état libre, ni dans l'air ni dans l'eau d'une façon normale, mais seulement à l'état de sels (bicarbonate, azotate, etc.), dans lesquels la tension de l'ammoniaque est incomparablement plus faible et régie par des lois toutes différentes de celles d'une simple dissolution. Quoi qu'il en soit, les théories de ce genre laisseraient toujours subsister la difficulté d'origine; car cette ammoniaque préexistante n'échapperait pas aux causes générales de destruction des composés azotés, qui interviennent pendant le cycle qu'elle parcourt: sa quantité absolue devrait donc tendre à diminuer incessamment. D'ailleurs, la dose

d'ammoniaque gazeuse apportée ainsi par l'atmosphère sur une surface donnée, est tout à fait insuffisante pour expliquer la dose d'azote fixée par le sol, surtout quand on opère loin des villes et dans un air pur : c'est ce que démontrent sans réplique les dosages qui seront exposés plus loin.

Des observations analogues s'appliquent aux opérations de l'agriculture, malgré l'intervention des engrais azotés que l'on ajoute au sol pour en entretenir la fertilité. En effet, la proportion d'azote enlevée par la récolte dépasse souvent celle qui est restituée au sol par les engrais : excédent d'autant plus notable qu'une portion de l'azote des engrais s'élimine en nature et à l'état de liberté, indépendamment de la végétation, par le fait des fermentations; une autre portion se dégage dans l'atmosphère, sous forme d'ammoniaque ; tandis qu'une autre portion encore de l'azote du sol est entraînée par les eaux souterraines, sous forme de nitrates ou de produits organiques dissous. Toutes les actions connues concourent donc à épuiser l'azote combiné dans le sol et dans les végétaux.

On avait pensé d'abord que les plantes ordinaires possédaient la propriété d'assimiler directement l'azote libre; mais, à la suite de longues controverses et d'une multitude d'expériences, les auteurs les plus modernes et les plus autorisés se sont accordés jusqu'à ces derniers temps avec Boussingault pour écarter cette hypothèse, comme démentie par toutes les observations exactes. En tout cas, elle n'a pu être démontrée, et les faits sur lesquels elle semblerait encore s'appuyer peuvent être rapportés à l'action propre de la terre, plutôt qu'à celle des végétaux supérieurs développés à sa surface. Disons enfin que la fixation de l'azote par l'hydrogène naissant que fourniraient les matières humiques en décomposition, a été aussi invoquée ; mais elle n'a pu non plus être démontrée par des preuves certaines.

Ces causes de déperdition incessante de l'azote constituent le principal problème de l'agriculture. Si elles n'intervenaient pas, il suffirait de restituer continuellement les engrais des animaux (déjections et débris divers) au sol appauvri par l'enlèvement des récoltes que ces mêmes animaux consomment. On établirait ainsi, par des dispositions convenables, une rotation véritable, un *circulus*, pour employer le terme proposé jadis par Pierre Leroux, qui en avait fait, en 1848, la base de son projet de Constitution politique : chaque être vivant, chaque homme étant réputé en principe pouvoir vivre sans travailler, à l'aide du seul produit des engrais qu'il aurait restitués à la terre. Cette idée étrange met cependant bien en évidence la nécessité de l'azote en agriculture.

A défaut des engrais animaux, insuffisants ou gaspillés dans les grandes villes, faute de procédés convenables pour les recueillir méthodiquement en totalité et les faire retourner jusqu'aux champs cultivés, nous recourons aujourd'hui aux composés azotés fournis par les industries chimiques : sels ammoniacaux et nitrates.

Si cette solution suffit et suffira longtemps encore aux besoins de l'agriculture, ce n'est pourtant pas là une solution théorique du problème. En effet, l'industrie humaine ne sait pas encore produire économiquement les composés azotés en partant de l'azote libre, c'est-à-dire en utilisant les réactions synthétiques.

Dans l'industrie, les sels ammoniacaux sont fabriqués en grande partie par la destruction des débris animaux, non sans de fortes déperditions d'azote ; déperditions qui concourent ainsi à accroître la perte d'azote éprouvée dans la nature sur l'ensemble des composés azotés naturels.

Une autre partie des sels ammoniacaux industriels résulte de la distillation de la houille, c'est-à-dire de la destruction

des réserves naturelles accumulées pendant les temps géologiques, et qui s'épuiseront, elles aussi, à la longue. Il en est de même des nitrates de soude, fournis en si grande abondance par les mines du Chili.

En somme, l'industrie humaine opère sur des composés azotés naturels, tirés des êtres vivants ou des réserves naturelles ; mais elle ne les produit pas, jusqu'à présent du moins.

Ce sont ces composés que l'agriculture intensive utilise. Par conséquent, l'agriculture intensive ne diffère de la végétation naturelle et spontanée que parce qu'elle consomme les composés azotés plus rapidement et en plus grande quantité ; mais elle ne connaît jusqu'ici aucune méthode efficace pour les régénérer au moyen de l'azote atmosphérique. Tout le monde est d'accord sur ce point.

Tel était l'état de la science lorsque, il y a quelques années, j'ai établi l'existence d'une cause naturelle, nouvelle et inattendue, de fixation directe de l'azote libre sur les principes immédiats des végétaux : je veux dire l'électricité atmosphérique normale, agissant d'une manière continue et silencieuse.

Il ne s'agit plus de ces actions accidentelles, de ces décharges subites et de ces étincelles violentes qui forment, en faibles doses, l'acide azotique et l'azotite d'ammoniaque pendant les orages. Mais dans les phénomènes que j'ai découverts, l'électricité atmosphérique engendre peu à peu des composés azotés complexes, par une action inductrice silencieuse, lente, continue, résultant des faibles tensions électriques qui existent en tout temps, en tout lieu, à la surface du globe.

Cette action, demeurée inconnue jusqu'à présent, se produit cependant d'une manière nécessaire, en vertu des lois inéluctables de la Chimie et de la Physique, partout

où se trouvent réalisées ces trois conditions : présence de l'azote libre, présence d'une matière hydrocarbonée, et existence d'une tension électrique, si faible qu'elle puisse être.

En cherchant à approfondir davantage ces phénomènes, j'ai découvert une autre condition, nouvelle aussi et non moins générale, de fixation directe de l'azote atmosphérique : je veux parler de l'action sourde, mais incessante, des sols argileux et des organismes microscopiques qu'ils renferment.

Ces deux influences continues de l'électricité atmosphérique silencieuse et de l'action propre du sol, pour déterminer la restitution continuelle de l'azote pendant la végétation spontanée, sont essentielles à constater ; car il est incontestable que la terre végétale d'une prairie ou d'une forêt s'appauvrirait peu à peu par le fait de la végétation, joint à l'enlèvement des récoltes, s'il n'existait pas des causes compensatrices; je dis des causes plus énergiques que les apports météoriques dus aux pluies d'orage et à l'ammoniaque atmosphérique, et qui soient capables de régénérer à mesure les composés azotés des plantes.

Une semblable restitution d'azote ne se manifeste pas dans les analyses qui portent sur la culture intensive, parce que les récoltes enlevées chaque année sont si abondantes que la perte due à leur départ surpasse le gain dû à la fixation naturelle de l'azote ; celle-ci n'apparaît donc point dans les essais faits sur des plantes ainsi cultivées. Mais il en est autrement dans la végétation naturelle.

En effet, personne ne saurait douter, et l'observation la plus vulgaire démontre que, malgré les déperditions incessantes d'azote dues à l'enlèvement des récoltes et aux décompositions chimiques, la vie végétale se reproduit dans les prairies et dans les forêts, en vertu d'une rotation indéfinie ;

du moins toutes les fois qu'on n'épuise pas la terre par une culture intensive.

Or, mes expériences actuelles mettent en évidence deux des mécanismes de cette régénération, indispensable à qui veut se rendre compte de la fertilité continue des sols naturels : mécanisme électrique, mécanisme microbien. Nous trouvons par là l'explication de bien des pratiques agricoles, consacrées par une longue tradition, mais dont la théorie était restée obscure ; telles que la jachère intermittente du sol, les labours fréquents et profonds, etc. Ces expériences expliquent en même temps comment des sables argileux, presque stériles au moment où ils sont amenés au contact de l'atmosphère, peuvent cependant servir de support et d'aliment à des végétations successives. Celles-ci deviennent même de plus en plus florissantes, parce qu'elles utilisent à mesure l'azote fixé annuellement par ces sables, ainsi que l'azote des débris des végétations antérieures, débris accumulés et associés aux mêmes sables argileux, de façon à constituer à la longue la terre végétale.

Dans l'étude de ces importantes questions, disons comment j'ai procédé : en effet, l'histoire de la marche suivie dans mes essais ne sera peut-être pas sans quelque intérêt.

Au début, en 1883, je me proposais surtout de préciser le mode d'influence de l'électricité atmosphérique silencieuse sur la fixation de l'azote pendant la végétation ; non pour revenir sur le fait même de la fixation électrique de l'azote sur les principes hydrocarbonés, fixation qui se produit au contact de l'atmosphère d'une façon aussi fatale que les phénomènes d'oxydation ; mais je me proposais de pénétrer les circonstances et le détail de cette fixation. J'ai disposé, à cette fin, des sols artificiels, presque exempts d'azote et de matière organique, tels que des sables argileux et des

kaolins ; ils étaient arrosés de temps en temps avec de l'eau distillée, et je me suis efforcé d'y faire pousser des végétaux choisis convenablement, soit en les semant, soit en les repiquant, de façon à les rendre aptes à fixer sur eux-mêmes l'azote atmosphérique.

Les pots qui contenaient ces sols artificiels étaient disposés dans des conditions diverses, et notamment au sommet d'une tour haute de 28 mètres. Les uns étaient libres, c'est-à-dire déposés simplement sur une planche, les autres isolés électriquement et maintenus pendant plusieurs mois consécutifs au potentiel de l'atmosphère, à l'aide de dispositions bien connues des physiciens (écoulement d'eau d'un réservoir, isolé lui-même et mis en communication électrique avec les pots). Le potentiel atmosphérique, proportionnel comme on sait à l'altitude, est demeuré voisin de 600 à 800 volts, pendant presque toute la durée des expériences. Celles-ci ont donné lieu à divers incidents, dus à la complexité extrême de toute évolution d'êtres vivants, lesquels m'ont montré la nécessité d'analyser davantage les conditions du problème, et d'étudier séparément, d'une part, l'action de l'électricité sur les plantes et sur le sol, indépendamment ou simultanément, dans différentes conditions de vitalité et périodes d'existence des végétaux ; et, d'autre part, l'action propre du sol et des plantes, séparés ou réunis, sur la fixation de l'azote atmosphérique. Les questions à résoudre se sont dès lors multipliées, ainsi que les séries d'expériences, et j'ai dû, pour procéder avec méthode, coordonner et limiter mes premiers efforts, de façon à tâcher de résoudre d'abord le problème de la fixation de l'azote par le sol, indépendamment des actions électriques et indépendamment de la végétation des plantes supérieures. Pour plus de simplicité, j'ai même cru utile d'opérer sur des terrains presque stériles.

à savoir les sables argileux, qui se trouvent au-dessous des argiles à meulières et pierres siliceuses des plateaux des environs de Paris, et les kaolins bruts, employés dans la fabrication des porcelaines de Sèvres.

L'étude de la fixation de l'azote libre sur ces terrains, faite dans des conditions variées d'aération, d'éclairage, d'altitude, de stérilisation, etc., constitue le *premier chapitre* : cette fixation s'y trouve complètement démontrée.

Dans le *second chapitre*, annexe du précédent, j'ai défini la nature et la proportion de la matière organique contenue dans ces terrains; matière qui constitue la trame des êtres vivants microscopiques, aptes à fixer l'azote atmosphérique.

Le *troisième chapitre* est consacré à l'étude de la fixation de l'azote, non plus cette fois sur des sables argileux et sur des kaolins, mais sur la terre végétale elle-même ; toujours indépendamment de la formation des végétaux proprement dits.

Dans le *quatrième chapitre*, j'examine la fixation de l'azote sur la terre végétale, avec le concours de la végétation des plantes supérieures, et j'y démontre qu'elle a lieu également dans ces circonstances, au moins pour certaines espèces botaniques.

Un *cinquième chapitre* précise quelques conditions générales de la fixation de l'azote par la terre végétale.

Un *sixième* expose des recherches sur le drainage, question qui présente un lien étroit avec celle de la fixation de l'azote.

Un *septième* traite de l'émission de l'ammoniaque par la terre végétale, sujet qui sera repris avec plus de développement dans le troisième volume.

Un *huitième* est affecté à l'étude des données et méthodes d'analyse, relatives à la fixation de l'azote dans la terre et les végétaux.

Dans un *neuvième chapitre*, je reprends sous une forme nouvelle les expériences relatives à la fixation de l'azote sur la terre nue, c'est-à-dire privée de végétaux supérieurs.

Dans le *dixième chapitre*, je montre la fixation de l'azote effectuée avec le concours de la végétation des Légumineuses.

Le *onzième chapitre* établit la fixation de l'azote par les acides humiques, toujours sous influences microbiennes.

Enfin, dans le *douzième chapitre*, je traite des micro-organismes fixateurs d'azote.

C'est par l'ensemble de ces recherches que j'ai démontré le rôle direct des microbes dans la fixation de l'azote, rôle qui avait été jusqu'ici ignoré, et les résultats de mes expériences, après une longue discussion, ont été acceptés universellement.

CHAPITRE PREMIER

FIXATION DE L'AZOTE LIBRE PAR CERTAINS TERRAINS ET SABLES ARGILEUX

Les expériences que je vais décrire ont été exécutées dans la station de Chimie végétale de Meudon, sur quatre terrains argileux presque stériles, très pauvres en matière organique et en composés azotés, et par là même très propres à montrer l'origine des phénomènes qui président à la fixation de l'azote. Elles ont été faites pour la plupart en dehors de tout développement de végétaux supérieurs proprement dits. Elles ont compris deux années de culture, du mois de mai 1884 au mois d'octobre 1885.

Mes expériences constituent cinq séries distinctes, mais simultanées, faites sur quatre terrains différents, et comprenant plus de cinq cents analyses, savoir :

1° Simple conservation des terrains dans une chambre close ; condition qui exclut l'action de la pluie, des poussières et des autres matières amenées par l'atmosphère illimitée et incessamment renouvelée, ainsi que celle des gaz émis par le sol ;

2° Séjour dans une prairie, sous abri ; condition qui exclut seulement l'action de la pluie, en admettant celle de l'atmosphère illimitée et renouvelée, et celle des gaz exhalés par le sol ;

3° Séjour en haut d'une tour de 28 mètres, sans abri ; condition qui admet à la fois l'influence de la pluie, celle de

l'atmosphère sans limite et celle de l'électrisation silencieuse de l'air qui circule à cette hauteur; mais elle exclut le voisinage des gaz émis par le sol;

4° Séjour dans des flacons hermétiquement clos, en présence d'un grand volume d'air; condition qui exclut les poussières, la pluie, l'atmosphère illimitée, les gaz du sol, enfin l'électrisation de l'air. L'opération s'effectue tout entière sur un volume d'air limité et non renouvelé ;

5° Enfin, stérilisation préalable, destinée à exclure l'influence des microbes contenus dans les terres soumises aux essais.

Au même ordre que ces derniers appartiendraient les essais sur la végétation dans des sols préalablement chauffés au rouge, tels qu'un certain nombre des essais qui ont été faits autrefois pour étudier la fixation de l'azote par les végétaux. En agissant ainsi, les opérateurs avaient exclu, à l'avance et sans s'en douter, l'une des conditions fondamentales du succès.

Je parlerai d'abord des procédés d'analyse, puis de la nature des terrains; j'exposerai ensuite les cinq séries d'expériences qui viennent d'être signalées, en y joignant une série préliminaire, faite en 1884, dans des conditions un peu plus compliquées, mais dont les résultats ont été pareils.

PROCÉDÉS D'ANALYSE (1).

Dans ces expériences, j'ai dosé l'azote au moyen de la chaux sodée, et j'y ai joint le dosage des nitrates, lesquels ne renferment d'ailleurs qu'une très petite fraction de l'azote total. J'avais d'abord ajouté à ces dosages celui de l'ammoniaque, qui se dégage lorsqu'on traite la terre à froid par une

(1) Voir aussi le chapitre VIII dans le présent volume.

solution de soude ; mais la signification de ce dosage étant mal définie, à cause de l'altération lente des composés azotés du sol par l'alcali, j'y ai renoncé. Il n'influe d'ailleurs en rien sur le dosage de l'azote total, non plus que sur aucune de mes conclusions.

Donnons quelques détails plus circonstanciés sur la marche suivie dans les analyses.

On a pris soin, avant chaque dosage, de mélanger intimement toute la masse finement pulvérisée et tamisée (soit 1 à 2 kilogrammes dans les séries actuelles) et l'on a prélevé un échantillon de 60 à 80 grammes. Deux dosages ont été exécutés chaque fois ; dans les cas, assez rares d'ailleurs, où ils ne concordaient pas absolument, on a renouvelé l'opération du mélange et réitéré les dosages.

Les chiffres sont tous rapportés par le calcul à 1 kilogramme de matière desséchée à 110°.

L'eau représente la perte de poids à 110°, subie par 100 parties de matière brute. Si l'on chauffait au rouge, la perte serait évidemment plus forte.

Dans les dosages de l'azote combiné, exécutés par la chaux sodée, au sein d'une atmosphère d'hydrogène, on a opéré sur 30 à 40 grammes de sable : tantôt sans aucune dessiccation ; tantôt après une simple dessiccation dans le vide, à froid, pour ne pas perdre l'azote ammoniacal, azote que la dessiccation à 110° élimine en partie. Cet azote ammoniacal peut être regardé ici comme se retrouvant dans l'azote combiné, dont il ne forme d'ailleurs qu'une fraction très minime.

Les azotates ont été dosés sur 500 grammes à 1 kilogramme de terre, épuisée par un lessivage méthodique. Leur azote a été ajouté dans les tableaux avec l'azote fourni par la chaux sodée ; ce n'est pas qu'une fraction de l'azote des azotates ne puisse être changée en ammoniaque par la calcination avec

ce réactif, mais la dose de l'azote des azotates est minime dans ces terres, et les chiffres sont tels que, même si l'on voulait tenir compte de cette transformation partielle, portant sur une quantité totale déjà très faible, cela ne changerait rien aux conclusions ; nous allons d'ailleurs le démontrer.

Voici en effet quelques expériences destinées à rechercher le degré de confiance que l'on peut accorder à ces dosages. Dans les unes, on a opéré sur des échantillons d'une même terre séchée à l'air, tamisée, passée au moulin et retamisée ; on la traitait au moyen de la chaux sodée.

Dans les autres, on a dosé l'azote de cette même terre en volume, par le procédé Dumas, très soigneusement appliqué.

Terre du potager.

	gr.
Chaux sodée. Premier dosage, rapporté à 1 kilogr. sec : Az......	1,3417
» Deuxième dosage, rapporté à 1 kilogr. sec : Az...	1,2772
Moyenne..............	1,3093
Cette terre renfermait : Az nitrique (dosé séparément)..........	0,0071

La somme des deux données s'élèverait à 1gr,3164.

Procédé Dumas (en volume).................................. 1gr,3091

Il y a concordance entre les deux modes de dosage, à un deux-centième près du poids de l'azote, c'est-à-dire à un degré qui dépasse ce que l'on aurait pu espérer.

Terre de la terrasse.

	gr.
Chaux sodée. Azote total pour 1 kilogramme sec................	2,417
Cette terre renfermait : Azote nitrique.............	0,0064

La somme des deux données s'élève à 2gr,4234.

Procédé Dumas. Azote total.................................. 2gr,495

La concordance est encore fort grande, l'écart étant seulement de trois centièmes de l'azote total, lequel ne repré-

sente que les deux millièmes du poids de la terre analysée. Ces résultats prouvent que le procédé de la chaux sodée, plus commode et plus rapide que le dosage de l'azote en volume, pouvait être employé en toute sécurité pour les terres soumises à mes études.

Ajoutons enfin que toutes les analyses ont été faites avec une même provision de chaux sodée, dans laquelle on a dosé avec soin, en la calcinant avec une matière organique exempte d'azote, les traces presque insensibles d'azote qu'elle renfermait elle-même, afin de les déduire des analyses. Ainsi :

50 grammes de chaux sodée, proportion constante employée par chacune des analyses, ont fourni, dans des dosages spéciaux :

Azote........................ $0^{gr},00017$

Cette détermination a été répétée à plusieurs reprises et époques, avec des résultats concordants.

On a retranché ce nombre dans tous les dosages faits par la chaux sodée ; on voit combien la correction est faible. Remarquons d'ailleurs que, les expériences ayant un caractère comparatif et les poids de chaux sodée employés étant toujours les mêmes, les variations observées sur la dose d'azote sont indépendantes de cette correction.

Disons enfin que la limite d'erreur résultant du mode de dosage est d'environ $0^{gr},00003$ sur chaque essai ; soit $0^{gr},001$, en la rapportant à 1 kilogramme de terre par le calcul.

NATURE DES TERRAINS

J'ai opéré sur quatre terrains argileux différents, savoir :

I. *Sable argileux jaune.* — Cette matière se trouve au-dessous des meulières et pierres siliceuses des plateaux de

Meudon et de Sèvres. C'est une des formations les plus répandues du nord-est de la France. A l'origine, c'est-à-dire lorsqu'il vient d'être amené à la surface du sol et tel que je l'ai mis en œuvre, ce sable est pauvre en azote et en matière organique. Il ne renferme que quelques centièmes de calcaire. Cependant, lorsqu'il est exposé à l'air, il se couvre rapidement de végétation, en même temps qu'il s'enrichit peu à peu en azote. La végétation spontanée développée à la surface d'un semblable terrain couvre en France des étendues immenses.

II. *Autre échantillon du même sable*, provenant comme le précédent d'une fouille toute récente.

III. *Argile blanche.* — C'était un kaolin brut, destiné à la fabrication de la Manufacture de Sèvres, et dont le directeur, M. Lauth, avait eu l'obligeance de m'adresser 100 kilogrammes lavés, mais non broyés finement, sous l'étiquette S. K. S. Fargetas. D'après les analyses faites à Sèvres, il contenait 4,5 à 4,8 centièmes de potasse.

IV. *Autre argile blanche*, adressée aussi par M. Lauth (3 juin 1884), sous l'étiquette : Kaolin brut, tel qu'il sort de la carrière ; marque K. A. Nennert ; renfermant 6 centièmes de potasse. Ce kaolin était très difficile à sécher et avait une tendance à s'agglomérer en petites boules ; ce qui en rendait les analyses difficiles.

Première série d'expériences. — *En chambre close.*

Les terrains précédents ont été disposés dans de grands pots de grès, vernissés, cylindriques, de 36 centimètres de diamètre, renfermant chacun de 50 à 60 kilogrammes de matière, laquelle occupait à la fin des essais une épaisseur de 45 centimètres environ. Ces pots sont dé-

posés dans une pièce bien close, cimentée à neuf sur toutes ses parois, bien éclairée, sèche, à l'abri de toute émanation; chaque pot est recouvert simplement d'une planche, qui permet la circulation de l'air en évitant les chutes directes de poussières.

Avant chaque analyse, on prend soin de renverser le pot sur une aire cimentée, plane, lisse et bien propre; on en mélange le contenu très soigneusement; puis on prélève çà et là des échantillons, formant en tout 1 à 2 kilogrammes, que l'on mélange entre eux avec beaucoup de soin et sur lesquels on fait ensuite les prélèvements nécessaires pour les analyses.

Cet ensemble d'opérations a été renouvelé à la fin de chaque période. Seulement on a eu soin, en 1884 et 1885, de faire d'abord une première prise à la surface des pots, afin de vérifier si la masse était homogène, au point de vue de sa richesse en azote; et spécialement si la surface était plus riche ou plus pauvre en cet élément que la masse inférieure; puis on a mélangé le tout, afin de prendre un échantillon moyen.

Voici les résultats des analyses, rapportées par le calcul à 1 kilogramme de matière séchée à 110°. Les pesées relatives à la dessiccation ont été faites sur une portion distincte de celle qui servait à doser l'azote, afin d'éviter toute déperdition d'ammoniaque avant le dosage. Chaque résultat, on le répète, est la moyenne de deux essais concordants au moins; s'ils ne concordaient pas, ce qui est très rare, on en faisait deux autres.

I. — Sable argileux jaune.

Ce sable venait d'être tiré d'une fouille étendue, de deux mètres de profondeur, pratiquée, en vue de la construction

d'un laboratoire, dans une prairie pauvre et qui n'avait jamais été cultivée. On a trié avec soin le sable, de façon qu'il fût exempt de toute parcelle de la couche de terre arable superficielte et de tout débris organique. Ce sable était resté exposé à l'air pendant quelques jours.

1. *État initial.* — 29 mai 1884.

Terre séchée à froid : 1 kilogramme.

Eau (perte à 110°, en centièmes du poids de la matière brute). 1,73

c'est-à-dire, pour 1 kilogramme de terre séchée à 110° : 17gr

	gr.
Azote organique........... ...	0,0705
Azote des nitrates.............	0,0004
Somme..........	0,0709

2. Après cinq mois environ, à la fin de l'été, j'ai renouvelé le dosage de l'azote. Avant de mélanger toute la masse, j'ai d'abord prélevé 40 grammes à la surface ; puis j'ai mélangé le surplus et fait un autre dosage sur le produit moyen.

Voici les résultats :

10 octobre 1884.

Terre séchée à froid : 1 kilogramme.

Eau (perte à 110° pour 100 parties de la matière brute).... 1,96

c'est-à-dire, pour 1 kilogramme de terre séchée à 110° : 20 grammes.

	Surface du pot.	Mélange de la masse.
	gr.	gr.
Azote organique.............. ..	0,0817	0,0871
Azote des nitrates..............	»	0,0062
Somme...........	»	0,0933

D'après ces chiffres, la dose d'azote s'est accrue d'un quart environ, pendant une demi-année. L'accroissement a eu lieu sur toute la masse. Il était un peu moindre à la surface : ce

qui montre qu'il ne résultait pas d'une fixation immédiate, opérée au contact de l'air ambiant. Au contraire, il semblerait que celui-ci eût amené quelque déperdition sur l'azote fixé. L'accroissement paraît avoir eu lieu dès lors sur toute la masse, aux dépens des gaz atmosphériques répartis dans la matière poreuse. Quant aux nitrates, ils se sont accrus, mais très faiblement.

3. Six mois après, l'hiver étant écoulé, j'ai répété les dosages.

30 avril 1885.

Terre séchée à froid : 1 kilogramme.

Eau (perte à 110°, sur 100 parties de matière brute). 2,08

c'est-à-dire, pour 1 kilogramme de terre séchée à 110°, 21gr,2.

	gr.
Azote organique	0,0833
Azote des nitrates	0,0077
Somme	0,0910

Pendant la saison d'hiver, l'azote a donc peu varié ; il semble même avoir un peu diminué, mais la variation ne dépasse guère les limites d'erreur. Le phénomène paraît donc se ralentir ou s'arrêter, quand la température s'abaisse. Les nitrates ont à peine varié.

4. Pour vérifier ces résultats, j'ai répété le dosage en juillet, deux mois et demi après.

10 juillet 1885.

Terre séchée à froid : 1 kilogramme.

Eau (perte à 110°, sur 100 parties de matière brute). 1,91

ce qui fait, pour 1 kilogramme de terre séchée à 110°, 19gr,4

	gr.
Azote organique	0,1035
Azote des nitrates	0,0074
Somme	0,1109

Il s'est fixé pendant le printemps un quart environ d'azote, par rapport au poids précédent. La dose des nitrates n'a pas changé sensiblement.

5. Fin de la saison. En octobre, j'ai dosé une dernière fois l'azote, à la surface de la terre et dans la masse moyenne.

Octobre 1885.

Terre séchée à froid : 1 kilogramme.

Eau (perte à 110°, sur 100 parties de matière). 2,10

ce qui fait, pour 1 kilogramme de terre séchée à 110°, 21gr,4.

	6 oct. 1885. — Surface.	24 oct. 1885. — Mélange de la masse.
	gr.	gr.
Azote organique	0,1059	0,1105
Azote des nitrates	»	0,0074
Somme	»	0,1179

La masse a fixé encore, pendant la fin de la saison d'été, une nouvelle dose d'azote.

La surface est toujours un peu plus pauvre que la masse moyenne, précisément comme plus haut. Quant aux nitrates, ils n'ont pas changé.

En résumé, dans l'espace de deux saisons, l'azote s'est accru de moitié dans le sable argileux mis en expérience, lequel était un sable récemment tiré d'une profondeur de deux mètres.

L'accroissement de l'azote dans ce sable n'est pas dû, pour sa portion principale, du moins, à la formation des nitrates. L'azote nitrique a passé, à la vérité, de 0gr,0004 à 0gr,0062 la première année, puis à 0gr,0074 la seconde année ; mais le tout ne représente que la cinquième partie

de l'azote fixé, lequel s'élève à 0gr,047. Il est d'ailleurs vraisemblable, d'après tous les faits connus, que la nitrification a porté non sur l'azote libre, mais sur une portion de la matière azotée préexistante, ou formée préalablement au contact de l'air. La faible dose d'humidité contenue dans cette terre était peu favorable à la nitrification. Mais elle augmentait la porosité de la masse et rendait plus facile la circulation des gaz atmosphériques.

Ce n'est pas non plus sous la forme d'ammoniaque que l'azote se trouve fixé dans cette terre. On s'en est assuré par des dosages d'ammoniaque, exécutés en faisant agir sur ce sol la soude, à froid. Cette méthode, appliquée à la terre, donne, comme on sait, des nombres trop forts; elle fournit par conséquent une limite supérieure à la dose d'ammoniaque actuellement existante. Or elle m'a donné avec le sable précédent seulement un maximum de 0gr,003 d'azote ammoniacal par kilogramme, en octobre 1884; et la même dose maximum : 0gr,003, un an après.

Ces résultats montrent, d'une part, que l'azote ammoniacal ne doit guère avoir varié dans la terre étudiée, et, d'autre part, ils lui attribuent une valeur maximum fort inférieure à l'azote total fixé, lequel s'élève à 0gr,047.

Il résulte de ces faits et de ces chiffres que la fixation de l'azote sur le sol étudié amène, en définitive, cet élément à la forme d'azote organique; c'est-à-dire que l'azote a été probablement fixé par l'intermédiaire d'êtres vivants.

L'accroissement de la dose d'azote ainsi fixé s'est poursuivi à peu près proportionnellement pendant chaque saison. Cependant il est clair qu'un tel accroissement ne saurait avoir lieu indéfiniment : étant subordonné, d'après

ce qui vient d'être dit, à la dose de matière organique initiale contenue dans le sol.

Tels sont les résultats obtenus avec le sable argileux (I).

II. — Sable argileux jaune.

Cette série a été exécutée avec un autre sable argileux jaune, simultanément à la première, pendant la seconde année; le sable (II) ayant été tiré de terre un an après le sable (I). Ce sable provenait d'une autre fouille assez étendue, profonde de 3 mètres, pratiquée en vue d'une autre construction dans la même prairie, à 25 mètres de distance de la première. On a également choisi du sable récemment extrait, et exempt de tout mélange avec la terre arable superficielle, comme de tous débris végétaux. Ce sable contenait plus du double d'eau, n'ayant pas été abandonné à l'air pendant quelques jours comme le précédent, mais mis immédiatement en expérience. Les résultats obtenus avec ce sable ont été entièrement conformes aux premiers. Les voici :

1. *État initial.* — 30 avril 1885.

Terre : 1 kilogramme.

Eau (perte à 110°, sur 100 parties de matière). 4,92

ce qui fait, pour 1 kilogramme de terre sèche : $51^{gr},7$.

	gr.
Azote organique..............	0,1101
Azote des nitrates............	0,0018
Somme...........	0,1119

Cette terre était donc moitié plus riche en azote que la précédente, aux débuts de l'expérience.

2. Deux mois et demi après :

10 juillet 1885.

Terre : 1 kilogramme.

Eau (perte à 100°, sur 100 parties de matière). 4,00

ce qui fait, pour 1 kilogramme de terre sèche : 41gr,6.

	gr.
Azote organique....	0,1384
Azote des nitrates........... .	0,0048
Somme.........	0,1432

Le gain s'élève à près du tiers de l'azote initial; les nitrates se sont légèrement accrus.

3. *A la fin de la saison* (octobre 1885).

Terre : 1 kilogramme.

Eau (perte à 100°, sur 100 parties de matière). 3,97

ce qui fait, pour 1 kilogramme de terre sèche : 41gr,3.

	6 oct. 1885. — Surface.	14 oct. 1885. — Masse mélangée.
	gr.	gr.
Azote organique.........	0,1455	0,1557
Azote des nitrates........	»	0,0082
Somme.....	»	0,1639

La fixation totale de l'azote s'est élevée, dans cette expérience, à 0gr,052 par kilogramme; c'est-à-dire qu'elle a été plus forte que la précédente. Elle représente la moitié environ de l'azote initial. Elle s'est opérée à peu près proportionnellement au temps.

La surface a été trouvée, ici comme plus haut, un peu plus pauvre en azote que la masse moyenne : ce qui confirme les observations déjà énoncées (p. 28).

Quant à l'azote des nitrates, il a crû de 0gr,0018 à 0gr,0082 ;

mais il ne représente que la sixième partie de l'azote fixé : il donne lieu aux mêmes remarques que plus haut (p. 29).

Enfin, l'azote ammoniacal, d'après les dosages par la soude à froid (lesquels donnent des nombres trop forts), aurait plutôt diminué légèrement qu'augmenté, pendant le cours de l'expérience. Sans s'attacher à ce point plus qu'il ne convient, il suffira d'observer, en tout cas, que la dose de l'azote ammoniacal n'atteignait pas, à la fin, $0^{gr},004$.

Il suit de ces constations que l'azote fixé sur le sable (II), aussi bien que sur le sable (I), y demeure principalement sous la forme d'azote organique combiné (p. 30).

III. — Argile blanche, c'est-à-dire kaolin brun, S.K.S. Fargetas, lavé, non broyé.

J'ai défini plus haut l'origine de cette argile, employée aux fabrications de la Manufacture de Sèvres (p. 25).

1. *État initial.* — Juin 1884.

Terre : 1 kilogramme.

Eau (perte à 110°, sur 100 parties de matière). 24,50

ce qui fait, pour 1 kilogramme de terre sèche : 325 grammes

On voit que cette argile était très humide aux débuts ; mais elle s'est desséchée dans le vase qui la contenait, de façon à parvenir à un état à peu près constant, état dans lequel elle renfermait seulement 4 à 5 centièmes d'eau.

En tout cas, à l'origine, elle contenait les doses d'azote suivantes, pour 1 kilogramme sec :

16 juin 1884.

	gr.
Azote organique...............	0,0170
Azote des nitrates.............	0,0014
Somme.........	0,0214

Cette argile était, on le voit, très pauvre en matière azotée.

2. Pendant la première année, elle a peu varié sous ce rapport : probablement parce qu'elle était trop imbibée d'eau pour que l'air pût circuler librement dans la masse ; mais elle s'est desséchée peu à peu durant ce temps.

En effet, on a trouvé, le 30 avril 1885 :

Terre : 1 kilogramme.

Eau (perte à 110°, sur 100 parties de matière). 4,92

ce qui fait, pour 1 kilogramme de terre sèche : 51gr,6.

Les 5 sixièmes de l'eau initiale s'étaient alors évaporés.

	gr.
Azote organique...............	0,0206
Azote des nitrates.............	0,0004
Somme..........	0,0210

L'azote total n'avait pas changé ; mais les nitrates avaient presque disparu, sans doute par l'effet de quelque fermentation.

3. Mais, à partir de ce moment, la fixation de l'azote s'est accomplie comme avec les sables argileux (I et II).

Soit, le 16 juillet 1885.

Terre : 1 kilogramme.

Eau (perte à 110°, sur 100 parties de matière). 4,48

ce qui fait, pour 1 kilogramme de terre sèche : 46gr,8.

La dessiccation avait donc à peu près complètement cessé pendant cette seconde période.

	gr.
Azote organique...............	0,0329
Azote des nitrates.............	Traces.
Somme..........	0,0329

Il s'était fixé 0gr,0119 d'azote, soit à peu près moitié de la dose initiale.

4. Cette fixation s'est poursuivie jusqu'en octobre.

Terre : 1 kilogramme.

Eau (perte à 110°, sur 100 parties de matière). 4,52

ce qui fait, pour 1 kilogramme de terre sèche, 47gr,03. L'eau est, on le voit, demeurée à peu près constante, plus que double d'ailleurs de l'eau des sables (I) et (II), les kaolins étant plus hygrométriques.

	6 oct. 1885. — Surface.	21 oct. 1885. — Masse mélangée.
	gr.	gr.
Azote organique	0,0354	0,0407
Azote des nitrates...............	Traces.	Traces.
Somme.........	0,0354	0,0407

On remarquera que la surface est moins riche que la masse moyenne ; toujours comme plus haut (p. 27, 32) avec les sables (I) et (II).

La masse principale a gagné en tout 0gr,020 d'azote ; c'est-à-dire que la dose d'azote y a doublé sensiblement.

Les nitrates n'entrent pas dans ce gain ; car il n'en subsiste que des traces.

L'azote ammoniacal également avait plutôt décru : sa dose maximum, estimée par la soude à froid, ne surpassait pas 0gr,0012, en octobre 1885.

Il résulte de ces faits que la fixation de l'azote sur ce kaolin s'était opérée sous forme organique, comme dans les cas précédents (p. 30 et 33).

IV. — Argile blanche, c'est-à-dire kaolin brut K. A. Nennert.

Cet échantillon, mis en pot, n'a pas fixé d'azote pendant les deux premières années ; sans doute parce qu'il était trop

humide et aggloméré en boules ou en grumeaux, que l'air ne pénétrait pas. Dans des conditions de ce genre, on est plutôt exposé à perdre de l'azote, par des phénomènes de fermentation analogues à la pourriture des fosses.

Mais, pendant le cours de l'année suivante, l'azote a commencé à se fixer normalement. C'est ce que montrent les analyses suivantes :

1. *État initial.* — 16 juin 1884.

Terre : 1 kilogramme.

Eau non déterminée.

	gr.
Azote organique	0,0630
Azote des nitrates	0,0030
Somme	0,0660

2. 10 juillet 1885.

Terre : 1 kilogramme.

Eau (perte à 110°, sur 100 parties de matière). 6,1

ce qui fait, pour 1 kilogramme de terre sèche : 65 grammes.

	gr.
Azote organique	0,0622
Azote des nitrates	0,0029
Somme	0,0651

3. 4 mai 1886.

Terre : 1 kilogramme.

Eau (perte à 110°, sur 100 parties de matière). 5,33

ce qui fait, pour 1 kilogramme de terre sèche : 56gr,1.

	gr
Azote organique	0,0659
Azote des nitrates	0,0047
Somme	0,0706

Jusqu'ici, l'état initial n'avait guère varié. Mais à ce moment la fixation de l'azote a commencé.

4. 19 octobre 1886.

Terre : 1 kilogramme.

Eau (perte à 110°, sur 100 parties de matière). 5,28

ce qui fait, pour 1 kilogramme de terre sèche : 55^{gr},5,

	gr.
Azote organique..........	0,1027
Azote des nitrates.............	0,0051
Somme........	0,1078

Il y a donc eu fixation d'azote pendant la dernière période, à la fin de la seconde année, et le phénomène est d'autant mieux caractérisé qu'il a été entravé au début, pendant deux ans, faute de la porosité convenable. Cette fixation finale est du même ordre de grandeur qu'avec les trois autres échantillons.

Il résulte de ces analyses que l'azote organique va sans cesse en croissant dans les sables argileux étudiés et récemment extraits de la profondeur du sol, ainsi que dans les kaolins, convenablement ameublis et poreux, lorsqu'on les conserve au contact de l'air.

Cet accroissement a lieu dans toute la masse, et non simplement à la surface, laquelle tend plutôt à demeurer un peu plus pauvre en azote que la masse moyenne.

Il n'a pas été observé pendant la saison froide (octobre 1884 à avril 1885).

Il n'est pas corrélatif de la nitrification, restée stationnaire pendant la seconde année dans le sable (I), légèrement croissante dans le sable (II), décroissante dans le kaolin (III), minime dans tous les cas.

L'accroissement de l'azote n'est pas non plus corrélatif de

l'azote ammoniacal, dont la dose dans les terres étudiées est restée très minime et négligeable.

Dans le kaolin (III), la fixation de l'azote n'a pas eu lieu d'abord avec la matière gorgée d'eau, mais seulement après que celle-ci est devenue ameublie et poreuse par la dessiccation.

Cet accroissement dans l'azote fixé sur les terres mises en expérience ne saurait évidemment être attribué aux eaux atmosphériques, qui ne pénétraient pas dans la chambre. Quant à l'ammoniaque atmosphérique gazeuse, on établira plus loin, par des expériences faites avec l'acide sulfurique étendu, à l'occasion de la troisième série, que son rôle ne saurait être qu'extrêmement faible. On ne saurait dès lors échapper à cette conclusion, à savoir que : l'accroissement de l'azote dans les terres mises en expérience est dû à la fixation de l'azote atmosphérique libre. Cette démonstration sera poussée plus loin dans la quatrième série, faite en vases complètement clos et à l'abri de l'atmosphère illimitée. Mais poursuivons l'exposition de nos autres expériences, qui ont été variées de toutes sortes de façons et qui présentent plus d'une circonstance intéressante.

DEUXIÈME SÉRIE D'EXPÉRIENCES. — *En prairie.*

Considérons maintenant ce qui passe, à l'air libre, au voisinage du sol d'une prairie.

On a fait séjourner les mêmes terrains dans des pots de porcelaine vernis, percés au fond, contenant chacun 1 kilogramme de matière, laquelle occupait une surface de 113 centimètres carrés, sous une épaisseur de 8 à 10 centimètres. Ces pots ont été déposés dans une prairie, sur des planches soutenues par des tréteaux, à 70 centimètres du sol. On les abri-

tait en les plaçant au-dessous d'un petit toit vitré, destiné à les préserver d'une pluie verticale, tout en laissant l'air circuler librement. La pluie oblique y pénétrait.

Pendant la deuxième période (juillet à octobre), on les arrosait de temps en temps, en raison de la sécheresse. L'eau distillée, ainsi fournie à chaque pot, a été mesurée exactement ; elle s'est élevée à 1^{lit},500. Elle était contenue dans un flacon fermé à l'émeri, que l'on ouvrait seulement pendant le temps nécessaire pour mesurer l'eau destinée à chaque arrosage, laquelle était employée aussitôt.

Cette eau d'arrosage a apporté en tout 1 milligramme d'azote ammoniacal, d'après le dosage direct opéré sur une portion de cette eau, lors de sa mise en flacon.

Voici les résultats obtenus avec les quatre mêmes terrains, déjà mis en expérience dans la première série. Cette fois les expériences ont eu lieu pendant une seule saison.

I. — Sable argileux jaune.

Terre : 1 kilogramme. — 1885.

	30 avril.	3 juillet.	10 octobre.
Eau pour 100 de terre (perte à 110°)	2,08	6,89	
Soit pour 1 kilogramme de terre sèche	21^{gr},3	74^{gr},0	
	gr.	gr.	gr.
Azote organique	0,0833	0,0939	0,0983
Azote des nitrates	0,0077	0,0038	traces (1)
Somme	0,0910	0,0976	0,0983 + x

L'accroissement de la dose de l'eau est dû aux arrosages et à l'état hygrométrique de l'air.

On voit que, dans cette expérience, la fixation de l'azote a eu lieu comme dans les pots abrités et suivant des proportions

(1) Cet échantillon a été lavé en partie par une pluie oblique, qui a déterminé un drainage et enlevé les nitrates (x).

analogues. On voit aussi que les nitrates ne sont pas davantage l'origine de cette fixation.

On a fait des vérifications analogues sur la dose maximum de l'azote ammoniacal dans cette terre, dose insignifiante et fort inférieure à l'azote fixé.

Il résulte de l'ensemble de ces essais que l'azote actuellement fixé sur cette terre, à la fin de l'expérience, s'y trouvait sous forme organique.

II. — Autre sable argileux.

Terre : 1 kilogramme. — 1885.

	30 avril.	3 juillet.	10 octobre.
Eau pour 100 de terre brute, etc.	4,92	9,02	
Soit pour 1 kilogr. de terre sèche.	51gr,8	99gr,2	
	gr.	gr.	gr.
Azote combiné................	0,1101	0,1140	0,1281
Azote des nitrates..............	0,0018	0,0024	0,0014 (1)
Somme..............	0,1119	0,1164	0,1295 + x

Mêmes conclusions.

III. — Argile kaolin.

Terre : 1 kilogramme. — 1885.

	30 avril.	3 juillet.	10 octobre.
Eau pour 100 de terre brute, etc,	4,92	12,15	4,35
Soit pour 1 kilogramme de terre sèche..............	51gr,8	138gr,3	45gr,5
	gr.	gr.	gr.
Azote combiné................	0,0206	0,0403	0,0332
Azote des nitrates.............	0,0004	0,0003	0,0021
Somme..............	0,0210	0,0406	0,0353

Il y a eu fixation d'azote, mais avec une oscillation, due évidemment au grand accroissement de la dose d'eau sous

(1) Même remarque que pour l'essai précédent.

l'influence de la pluie. Cette influence s'est exercée en partie par l'introduction d'un certain nombre de gouttes projetées obliquement par le vent; mais surtout parce que l'eau des arrosages quotidiens, trop abondante aux débuts, n'avait pas le temps de s'évaporer, à cause de l'état hygrométrique de l'air, celui-ci étant presque saturé de vapeur d'eau dans la saison de ces expériences. Or la terre, une fois gorgée d'eau, est exposée, comme je l'ai dit plus haut, à des fermentations spéciales, jusqu'au moment où l'évaporation a rétabli la porosité de la masse et la circulation intérieure de l'air. Malgré cette variation, il y a eu finalement fixation d'azote.

IV. — Autre kaolin brut.

Terre : 1 kilogramme. — 1885.

	30 avril.	6 juillet.	10 octobre.
Eau pour 100 de terre brute, etc.	4,65	12,86	4,79
Soit pour 1 kilogramme de terre sèche	48gr,8	147gr,6	50gr,3
	gr.	gr.	gr.
Azote combiné	0,1045	0,1003	0,1124
Azote des nitrates	0 0020	0,0037	0,0020
Somme	0,1065	0,1040	0,1144

Cet échantillon a donné lieu à une oscillation analogue au précédent, à côté duquel il se trouvait d'ailleurs; et cela en raison de l'action de la pluie des arrosages et de l'état hygrométrique de l'air. Cependant, en définitive, il y a toujours eu fixation d'azote.

En résumé, les terrains argileux expérimentés au contact de l'air dans une prairie ont finalement tous fixé de l'azote. La marche de cette fixation a été plus ou moins rapide; elle a même, dans deux cas, éprouvé une rétrogradation tempo-

raire : oscillations inévitables dans l'étude des phénomènes dus aux êtres vivants, et qui semblent liés ici avec les grandes variations de la dose de l'eau dans ces terrains. On a déjà signalé plus haut des arrêts du même ordre, dus à la même cause avec le kaolin (p. 35 et 38). La fixation de l'azote n'a été corrélative, ni de la nitrification, qui n'a pas eu lieu, ou qui a même rétrogradé; ni de l'azote ammoniacal, assez sensible pourtant dans le dernier échantillon (IV), d'après mes essais. Enfin la fixation de l'azote dans la prairie a été du même ordre de grandeur que dans la chambre intérieure.

Ajoutons que la pluie a joué un rôle minime dans cette série, bien qu'elle n'ait pas été tout à fait éliminée. L'ammoniaque gazeuse de l'atmosphère joue également un faible rôle, comme il résulte des mesures qui seront données tout à l'heure dans la troisième série (p. 45 à 48).

Mais, avant d'aller plus loin, comparons ces résultats avec ceux que l'on observe à une certaine altitude.

TROISIÈME SÉRIE D'EXPÉRIENCES. — *Sur une tour.*

On a fait séjourner les mêmes terrains dans des pots pareils aux précédents, déposés sur une planche sans aucun abri, en haut d'une tour isolée et dominante, à 1 mètre de la plateforme, c'est-à-dire à 29 mètres au-dessus du sol de la prairie précédente. Les gaz voisins du sol ne peuvent évidemment exercer aucune influence dans cette condition.

Les terrains ont été à plusieurs reprises inondés par la pluie, qui s'est écoulée par le trou des pots, en drainant les nitrates et autres matières solubles. Les résultats observés sont donc au minimum. On a arrosé, comme précédemment, pendant une période de sécheresse (p. 39). Malgré ces arro-

sages, la terre se trouve desséchée rapidement par le vent qui règne à cette hauteur.

I. — Sable argileux jaune.

Terre : 1 kilogramme. — 1885.

	30 avril.	6 juillet.	10 octobre.
Eau pour 100 de terre brute.....	2,08	1,68	
Soit pour 1 kilogramme de terre sèche..........................	21gr,2	17gr,1	
	gr.	gr.	
Azote organique................	0,0833	0,0945	Pot brisé par accident ; emporté par le vent.
Azote des nitrates..............	0,0077	traces	
Somme..............	0,0910	0,0945	

Il y avait en deux mois un accroissement sensible dans l'azote ; accroissement qui serait plus marqué encore si l'on pouvait y ajouter la dose de l'azote contenu dans les nitrates entraînés par les lavages et drainages dus à la pluie.

En tout cas, les nombres relatifs à l'azote organique sont à peu près les mêmes que dans la seconde série.

II. — Autre sable argileux.

Terre : 1 kilogramme. — 1885.

	30 avril.	3 juillet.	10 octobre.
Eau pour 100 de terre brute....	4,92	1,73	
Soit pour 1 kilogramme de terre sèche........................	51gr,8	17gr,6	
	gr.	gr.	gr.
Azote organique................	0,1101	0,1279	0,1387
Azote des nitrates..............	0,0018	Traces	0,0009
Somme..............	0,1119	0,1279	0,1396 + x

Il y a eu accroissement continu de l'azote organique, et même de l'azote total. Ce dernier est toujours trop faible, les nitrates ayant été entraînés par les lavages dus à la pluie.

III. — Argile kaolin.

Terre : 1 kilogramme. — 1885.

	30 avril.	6 juillet.	10 octobre.
Eau pour 100 de terre brute.....	4,92	5,13	
Soit pour 1 kilogramme de terre sèche........	51gr,8	54gr,0	
	gr.	gr.	gr.
Azote organique................	0,0206	0,0414	0,0557
Azote des nitrates..............	0,0004	Traces	Nul
Somme..............	0,0210	0,0414	0,0575

L'accroissement de l'azote organique et de l'azote total est plus considérable cette fois que dans aucune des séries précédentes, malgré le lavage de la terre.

En effet l'azote a presque triplé.

IV. — Autre kaolin brut.

Terre : 1 kilogramme. — 1885.

	30 avril.	6 juillet.	10 octobre.
Eau pour 100 de terre brute....	4,65	7,91	
Soit pour 1 kilogramme de terre sèche........................	48gr,8	85gr,9	
	gr.	gr.	gr.
Azote organique.............. ..	0,1045	0,1181	0,1497
Azote des nitrates..............	0,0020	0,0007	Traces
Somme..............	0,1065	0,1188	0,1497 + x

L'accroissement de l'azote organique est de moitié, malgré la déperdition des nitrates.

En résumé, les expériences de la troisième série, faites sur la tour, conduisent aux mêmes conclusions que celles de la seconde et de la première série. Malgré les lavages dus à la pluie, l'azote s'est fixé à dose considérable : particulièrement

sur les kaolins, qui ont donné leur maximum dans cette série.

On peut soupçonner ici l'influence de l'électricité atmosphérique, les pots étant au potentiel du sol, tandis que l'air qui les baigne était à un potentiel supérieur, en moyenne, de 600 à 800 volts, d'après mes mesures. Mais cette question est trop importante pour être discutée incidemment.

Les expériences faites sur la tour et dans la prairie ont donné lieu à un examen spécial, celui des apports en ammoniaque et acide nitrique, fournis par la pluie et par l'atmosphère gazeuse. Observons que les apports gazeux de cet ordre étaient communs aux deux séries; tandis que les apports attribuables à la pluie ont eu lieu surtout sur la tour, les terrains placés dans la prairie étant disposés sous un abri.

Pour faire cette comparaison avec rigueur, d'une part, on a dosé directement et à mesure l'ammoniaque et l'acide nitrique dans l'eau de pluie, recueillie dans un udomètre placé à côté des pots, et l'on a tenu compte des traces d'ammoniaque, presque insensibles d'ailleurs, apportées par l'eau distillée des arrosages. D'autre part, on a déterminé la dose maximum des apports d'ammoniaque sous forme gazeuse.

1° *Pluie.*

Surface de l'udomètre.................. 298 centimètres carrés.

Azote ammoniacal de la pluie.

1884. Du 10 juin au 2 juillet. Eau recueillie : 185 centimètres cubes.

Cette eau a été distillée avec une solution de soude, et

l'ammoniaque condensée dans l'acide sulfurique décime titré. La perte de titre de celui-ci a donné :

Azote ammoniacal........................ 0gr,000250

Du 27 juillet au 16. Eau recueillie : 215 centimètres cubes. Elle renfermait :

Azote ammoniacal........................ 0gr,000098

Du 16 juillet au 23. Eau recueillie : 620 centimètres cubes. Elle renfermait :

Azote ammoniacal........................ 0gr,000298

Du 23 juillet au 11 septembre. Eau recueillie : 2155 centimètres cubes.

Azote ammoniacal, en tout................ 0gr,000990

Du 11 septembre au 22 octobre. Eau recueillie : 350 centimètres cubes.

	gr.
Azote ammoniacal : premier dosage..........	0,000427
» deuxième dosage........	0,000399
Moyenne..............	0,000413
Total de l'azote ammoniacal de la pluie, pendant la durée des expériences de 1884......	0,002049

Si nous rapportons ce chiffre à 113 centimètres carrés, surface de l'un quelconque des pots mis en expérience, nous trouvons que chaque pot aura reçu, du 10 juin au 22 octobre 1884 :

1340 centimètres cubes d'eau de pluie, renfermant :

Azote ammoniacal........................ 0gr,000779

L'azote nitrique existait dans cette eau, comme on l'a vérifié ; mais la proportion, étant trop petite dans chaque essai, n'a pu être dosée. On pourrait l'évaluer, d'après des

essais analogues, au tiers du chiffre ci-dessus : ce qui ferait $0^{gr},00026$. L'azote organique de la pluie a une valeur voisine, d'après les analyses connues. On aurait donc pour l'azote total venant de la pluie environ : $0^{gr},0013$.

Dans la saison de 1885, les mêmes dosages ont été faits. Mais les données précédentes en indiquent suffisamment la marche, et, pour plus de simplicité, je me bornerai à donner ici les chiffres réduits à la surface des pots (113 centimètres carrés) et rapportés à deux périodes successives :

	gr.
1885. Du 30 avril au 30 juin. Azote ammoniacal	0,00028
Du 30 juin au 25 septembre. 2025 centimètres cubes ont fourni : $0^{gr},00083$ pour 298 centimètres carrés; soit pour 113 centimètres carrés : azote ammoniacal	0,00031
Total	0,00059

chiffre un peu plus faible qu'en 1884 ($0^{gr},000779$).

Il existait des traces d'acide nitrique dans cette eau de pluie, comme on l'a vérifié ; mais on n'a pu le doser exactement, même en opérant sur 2 litres d'eau. On a vérifié seulement que le poids de cet azote rapporté à une surface de 113 centimètres carrés, était cette fois inférieur à $0^{gr},0001$, d'après nos essais.

Ces chiffres sont du même ordre de grandeur que les nombres observés dans le parc de Montsouris (*Annuaire de l'Observatoire de Montsouris pour* 1884, p. 391), lesquels ont donné pour l'azote ammoniacal, pendant la même période des années 1877 à 1882, et pour la même surface, des valeurs oscillant entre $0^{gr},00036$ et $0^{gr},00088$: en moyenne, $0^{gr},00072$. L'azote nitrique serait le tiers environ de l'azote ammoniacal sur ce point de Paris. Mais à la station de Chimie végétale de Meudon, loin des fumées et des vapeurs des villes, nous l'avons souvent trouvé plus faible. En adoptant ce chiffre

maximum et une valeur égale pour l'azote organique, on trouverait pour l'apport d'azote combiné venant de la pluie, sur chaque pot, la valeur totale : 0gr,0010.

2° *Arrosage.*

Pendant les séries de jours secs, on a arrosé de temps en temps, avec de l'eau distillée, afin d'éviter que la terre ne durcît. Le volume de l'eau employée a été mesuré : il s'élevait en tout à 1lit,500 pour chaque pot. On a dosé sur l'eau d'un flacon, recueillie simultanément à l'alambic dans la même distillation (14 litres), les traces d'ammoniaque qu'elle contenait. Cette quantité, rapportée au volume total de l'eau d'arrosage (1lit,500), s'élevait à 0gr,00010.

Cela fait en tout : 0gr,00069 pour l'azote ammoniacal, apporté en 1885 dans chaque pot par la pluie et l'arrosage réunis. En y ajoutant 0gr,00041 pour l'azote nitrique et l'azote organique réunis, ce qui est un maximum, on aurait en définitive

0gr,0011

pour l'azote total combiné provenant des eaux.

Or l'azote fixé sur la terre des pots, dans les essais que je viens de rapporter, s'est élevé (1) :

	gr.
Sable II	0,0277
Kaolin III	0,0345
Kaolin IV	0,0432

pendant la même saison de 1885 ; c'est-à-dire qu'il a été de trente à quarante fois aussi considérable que l'azote combiné, apporté par la pluie et l'arrosage réunis. Ajoutons, en outre, que les eaux de pluie qui ont coulé au dehors à plusieurs

(1) L'expérience faite avec le sable I a été perdue.

reprises ont dû entraîner, sous forme de nitrates, une dose d'azote très sensible.

Il résulte de ces dosages que l'azote fixé sur les terres n'a pas été apporté par les eaux atmosphériques. Il est même très probable que la perte due au drainage a été supérieure à la quantité qu'elles ont apportée, d'après d'autres expériences que j'ai faites sur ce point spécial. La fixation réelle de l'azote serait donc supérieure aux nombres précédents.

3° *Azote ammoniacal gazeux.*

Examinons maintenant les apports d'azote combiné qui ont pu avoir lieu sous la forme d'ammoniaque gazeuse, apportée directement par l'atmosphère, indépendamment de l'ammoniaque dissoute dans l'eau de pluie.

L'atmosphère, en effet, renferme des traces d'ammoniaque gazeuse. D'après les analyses faites à Montsouris (*Annuaire pour* 1884, etc., p. 437), 100 mètres cubes d'air, recueillis en ce point de Paris, contiendraient en moyenne : $0^{gr},0022$ d'azote ammoniacal. D'après M. Schlœsing (*Contributions à l'étude de la Chimie agricole*, p. 39 ; 1885) l'ammoniaque contenue dans 100 mètres cubes d'air à Paris s'est élevée en moyenne (en 1875-1878) à $0^{gr},0025$; soit $0^{gr},0021$ d'azote : ce qui est à peu près le même nombre.

Quelque petits qu'ils soient, ces chiffres sont probablement trop forts pour être applicables à l'atmosphère des hauts plateaux de Meudon, les expériences des auteurs précités ayant été faites dans l'intérieur de Paris, c'est-à-dire dans l'intérieur d'une grande ville, qui émet sans cesse de l'ammoniaque, en raison de la décomposition des matières organiques qui s'y putréfient, et spécialement par les tuyaux d'évent des fosses d'aisances, tuyaux ouverts à la partie

supérieure des toits. Sur le Pic du Midi, MM. Müntz et Aubin ont obtenu seulement 0gr,0013 d'ammoniaque; soit 0gr,0011 d'azote dans 100 mètres cubes d'air, à peu près la moitié de ce que l'on a trouvé à Paris.

Quoi qu'il en soit, il est certain que l'atmosphère contient des traces d'ammoniaque, tant libre que combinée à l'acide carbonique, ou bien à l'état salin dans les poussières de l'air. Cette ammoniaque est-elle cédée à la terre, et quelle est la dose absorbée par le sol nu? Voilà ce qu'il convient d'examiner. Observons d'abord qu'une telle absorption coïnciderait avec un phénomène contraire, l'émission de traces sensibles d'ammoniaque par la terre végétale, en raison des décompositions organiques incessantes qui s'y accomplissent. J'ai fait, à cet égard, en collaboration avec M. André, des expériences susceptibles de donner une idée de ce double phénomène et qui seront transcrites plus loin. Or l'action fixatrice, exercée définitivement par le sol sur l'ammoniaque atmosphérique, est la résultante de ces deux actions.

On a cherché à en obtenir, sinon la mesure exacte, du moins une valeur maximum, valeur assurément beaucoup trop élevée, en exposant pendant un certain temps, au contact de l'air libre, dans des capsules à fond plat, ou dans de larges conserves, de l'acide sulfurique étendu; puis en distillant la liqueur avec de la magnésie et en dosant l'ammoniaque dans le produit distillé. En effet, l'acide sulfurique absorbe l'ammoniaque atmosphérique : son action à cet égard est certainement bien plus énergique que celle de la terre nue, les composés organiques de la terre ayant moins d'affinité pour cet alcali que l'acide sulfurique. En outre, ce dernier acide n'est pas susceptible de restituer à l'atmosphère, en vertu d'une autre réaction simultanée de signe contraire, une certaine quantité d'ammoniaque, comme le fait la terre végétale.

J'ai procédé à ces expériences. Très simples en principe, elles ont offert des difficultés imprévues. Tout d'abord, si l'on opère sans abri, l'acide est exposé à recevoir la pluie, qui ajoute son ammoniaque à celle de l'atmosphère. On évite cet accident, au moins en majeure partie, en plaçant au-dessus de la conserve qui contient l'acide étendu, à une hauteur de 3 à 4 décimètres, une planche carrée, fixée par quatre légers supports. La conserve reçoit cependant encore une partie de la pluie dans ces conditions. Les résultats observés sont donc un maximum; ce qui ne serait que plus concluant d'ailleurs pour l'objet de nos recherches.

Désireux d'opérer plus correctement, dans les essais faits en 1886, j'ai pris le parti d'opérer sans écran supérieur et de surveiller attentivement l'atmosphère, en enlevant la capsule pendant la durée de chaque pluie : cette précaution est assez assujettissante; mais elle est la plus sûre.

Ce n'est pas la seule. En effet, l'acide étendu, exposé au contact de l'air, se concentre plus ou moins rapidement. Parfois même, sous l'influence du vent et d'un degré hygrométrique de l'air peu élevé, spécialement au sommet de la tour, la concentration se fait assez vite, et l'acide, si l'on n'y prend garde, est amené jusqu'à l'état demi-sirupeux. Dans cet état, il détruit et carbonise les poussières organiques, et il acquiert parfois une odeur de musc, qui a la propriété singulière d'attirer les fourmis ailées : ce qui m'a fait perdre à diverses reprises toute l'expérience. On évite ces accidents, en remplaçant de temps en temps l'eau évaporée par de l'eau distillée, soigneusement privée d'ammoniaque.

Voici les résultats définitifs que j'ai obtenus dans ce genre d'expériences, convenablement conduites sur les hauteurs des plateaux de Meudon, dans la Station de Chimie végétale, à 160 mètres d'altitude et loin des habitations.

1. Du 30 juin au 25 septembre 1885 (trois mois).

Acide placé dans de larges conserves, abritées contre la pluie directe par un écran horizontal de même surface, disposé au-dessus, à 0m,3 de distance. Surface de la liqueur : 271 centimètres carrés. On a opéré simultanément, au voisinage du sol et en haut de la tour.

Au bas de la tour, la planche qui supportait la conserve étant placée dans une prairie, à 1 mètre du sol, on a trouvé :

Azote ammoniacal........ .... 0gr,00743

Cela fait, pour la surface d'un pot (113 centimètres carrés) :

Azote ammoniacal....... .... 0gr,0032

On remarquera que ce chiffre est très supérieur à celui de l'azote ammoniacal de la pluie, pendant la même période : soit 0gr,00031 sur la même surface (p. 47).

2. Un autre essai simultané, fait en haut de la tour, a fourni, pour la surface d'un pot (113 centimètres carrés) :

Azote ammoniacal........................... 0gr,0025

chiffre peu différent du précédent.

3. Pendant la période d'avril à juin 1885 (trois mois), des dosages analogues exécutés dans la prairie, et rapportés à la même surface, ont fourni :

Azote ammoniacal......................... 0gr,00158

4. Un essai fait sur un autre point de la prairie, en septembre et octobre 1886, avec une capsule non abritée, que l'on enlevait au moment de chaque pluie, a donné, pour la même surface (113 centimètres carrés), en deux mois :

Azote ammoniacal.......................... 0gr,0016

Tous ces nombres sont du même ordre de grandeur, ou plutôt de petitesse.

Ajoutons que l'ammoniaque cédée à l'acide sulfurique par l'atmosphère illimitée, pendant un même intervalle de temps, mais à des époques différentes, a varié très sensiblement, d'une expérience à l'autre, sur le même point. Ainsi, dans deux expériences consécutives, faites en octobre 1886, avec une même capsule et une même quantité d'acide, on a obtenu, pour la surface de cette capsule (25 centimètres carrés) :

	mgr.
(4) Premier essai : durée 7 jours	0,068
(6) Deuxième essai, consécutif au 1er : 18 jours..	0,035

c'est-à-dire moitié moins pendant un intervalle de temps double.

Pour rendre ces résultats comparables avec les précédents, on les a rapportés tous à la durée d'une semaine et à la surface de 113 centimètres carrés, ce qui donne, aux diverses époques envisagées :

	mgr.
(1)	0,27
(2)	0,21
(3)	0,13
(4)	0,20
(5)	0,31
(6)	0,08

Il résulte de ces nombres que la proportion de l'ammoniaque atmosphérique, au voisinage du sol, est fort variable, la quantité absorbée par l'acide sulfurique demeurant toujours excessivement faible.

Revenons maintenant à nos essais comparatifs. En ajoutant les essais faits depuis le mois d'avril jusqu'au mois d'octobre 1885, et rapportés à une surface de 113 centimètres carrés, on trouve :

Azote ammoniacal 0gr,0048

Telle est la proportion d'azote ammoniacal gazeux, tirée de l'atmosphère, qui a été fixée sur une surface de 113 centimètres carrés, durant l'espace de six mois, en 1885, par l'acide sulfurique étendu, dans une prairie des plateaux élevés de Meudon, au voisinage des pots qui contenaient les terrains argileux soumis à mes expériences. Cela ferait, pour une surface de 1 hectare : $4^{kg},2$.

Observons de nouveau que ces nombres ne sauraient être appliqués à l'action de la terre nue sur l'atmosphère, sans une exagération manifeste. L'ammoniaque fixée réellement doit être beaucoup plus faible, l'action exercée par la terre étant bien moins active que celle de l'acide sulfurique et balancée en partie par des déperditions de signe contraire, ainsi que nous l'avons établi avec M. André. Les conclusions auxquelles je parviendrai, en appliquant aux sols les données excessives d'absorption observées avec l'acide sulfurique, n'en seront que plus décisives.

En effet,

	gr.
Ce chiffre	0,0048
Ajouté à l'azote combiné apporté par la pluie...	0,0011
Donne un total de	0,0059

ce qui répondrait à $5^{kg},2$ par hectare.

Or l'azote fixé pendant le même temps, sur la même surface des terrains argileux soumis à mes expériences, s'est élevé, je le répète, aux chiffres suivants :

		Par hectare.
II	$0^{gr},0277$; soit	près de 25 kilogrammes.
III	$0^{gr},0345$; soit	31 —
IV	$0^{gr},0432$; soit	38 —

c'est-à-dire qu'il a été de cinq à sept fois aussi considérable.

L'azote fixé sur les terrains mis en expérience, au contact de l'air libre, n'est donc attribuable, pour sa portion princi-

pale du moins, ni aux apports de l'eau de pluie, ni à ceux de l'ammoniaque atmosphérique. Cette démonstration suffirait déjà; mais elle sera rendue plus complète tout à l'heure par les expériences faites en vases clos.

SÉRIE COMPLÉMENTAIRE

Pendant une autre série d'expériences analogues, mais préliminaires, faites en 1884, j'ai opéré sur une série d'échantillons du sable argileux (I), exposés sur la tour et à son pied, au sein de pots offrant une surface de 113 centimètres carrés; dans des conditions plus complexes d'ailleurs, ce sable étant mêlé à dessein avec des matières organiques de nature diverse, dans la proportion de 1 à 2 centièmes. J'ai trouvé que ce sable, pendant un espace de temps de cinq semaines (août et septembre 1884), avait fixé les doses d'azote suivantes.

1. Sable argileux (I) mêlé de coton : poids du sable supposé sec : 761 grammes. On opère en haut de la tour, à l'air libre, dans un pot de porcelaine vernie, percé d'un trou au fond. Voici les résultats :

État initial (fin de juillet 1884).

			gr.
Sable sec................	761 grammes.	Azote organique....	0,0541
		Azote nitrique......	0,0002
Coton....................	10 —	Azote organique....	0,0043
		Somme................	0,0586

État final (fin de septembre 1884).

			gr.
Sable (sec)..............	722 grammes.	Azote organique....	0,0604
		Azote nitrique......	0,0036
Coton (1)................		Azote organique....	0,0074
		Somme................	0,0714

(1) Mêlé d'un peu de sable adhérent : ce qui a amené le poids total à 12gr,8.

Le gain brut en azote est de................. 0gr,0128.

Ce gain est évalué trop bas, parce que le vent a emporté 39 grammes de sable ; soit un vingtième environ, renfermant 0gr,003 d'azote : ce qui porterait le gain total à 0gr,016.

En outre, l'eau de pluie a traversé le pot et s'est perdue au dehors, en entraînant par drainage une partie des nitrates.

D'autre part, la pluie avait apporté pendant ce temps, d'après des dosages comparatifs, effectués sur l'eau de l'udomètre :

Azote ammoniacal.......................... 0gr,00025

l'azote nitrique correspondant peut être évalué à 0gr,00008 au plus et l'azote organique au même chiffre. Mais les eaux qui ont traversé le pot et se sont perdues ont dû entraîner une déperdition au moins équivalente d'azote nitrique et autre. Nous négligerons cette déperdition, qui agit en sens inverse du résultat cherché.

Enfin l'azote de l'ammoniaque de l'air, absorbée par l'acide sulfurique étendu, sur une surface identique, pendant la durée de cette expérience, a été trouvé égal à 0gr,0022.

La somme de ce chiffre, ajouté à l'azote ammoniacal et nitrique de la pluie, est 0gr,0026.

Or cette somme représente seulement le cinquième de l'azote fixé sur les matières du pot, azote évalué cependant trop bas, à cause des pertes signalées plus haut. Cet azote fixé représente un gain supérieur à 0gr,0115 ; et il équivaut environ à 10 kilogrammes par hectare, chiffre minimum, comme il vient d'être dit. Ajoutons qu'il représente lui-même un cinquième de l'azote initial de l'argile.

2. Une expérience semblable a été faite en haut de la tour, avec le même sable et le même coton, à côté de la précédente ; la durée et les conditions étant les mêmes. Voici les résultats.

État initial (fin de juillet 1884).

			gr.
Sable (sec)...............	617 grammes.	Azote organique....	0,0439
		Azote nitrique......	0,0002
Coton....................	10 —	Azote organique....	0,0043
		Somme...............	0,0486

État final (fin de septembre 1884).

			gr.
Sable (sec)...............	581 grammes.	Azote organique....	0,0472
		Azote nitrique......	0,0006
Coton.................................		Azote organique....	0,0070
		Somme................	0,0548

Gain brut en azote........... $0^{gr},0062$

Si l'on tient compte de la perte du sable emporté par le vent (36 kilogrammes), on portera ce gain d'azote à.... $0^{gr},0085$.

L'action de la pluie, etc., donne lieu aux mêmes déperditions et observations que ci-dessus. L'azote des apports atmosphériques ne pouvant dès lors surpasser.... $0^{gr},0026$ il y a eu, en définitive, un gain de............... $0^{gr},006$ soit un huitième de l'azote initial; gain supérieur à 5 kilogrammes par hectare environ.

3. Voici des expériences semblables, faites au bas de la tour, dans la prairie, à $0^{m},70$ du sol; mêmes durée et conditions.

État initial (fin de juillet 1884).

			gr.
Sable (sec)...............	751 grammes.	Azote organique....	0,0534
		Azote nitrique......	0,0002
Coton....................	10 —	Azote organique....	0,0043
		Somme................	0,0579

État final (fin de septembre 1884).

			gr.
Sable (sec)...............	705 grammes.	Azote organique....	0,0667
		Azote nitrique......	0,0001
Coton.................................		Azote organique....	0,0055
		Somme................	0,0723

Gain brut en azote........... $0^{gr},0141$

41 grammes de sable ont été perdus; ce qui porterait le gain d'azote à 0gr,018; indépendamment de la perte due aux lavages par la pluie.

	gr.
La pluie a apporté, en azote combiné	0,0004
L'ammoniaque de l'air, au maximum	0,0022
Somme...............	0,0026

c'est-à-dire le sixième au plus du gain brut.

Le gain réel était supérieur à................ 0gr,0154 ; c'est-à-dire de près du quart de l'azote initial, soit environ 14 kilogrammes par hectare.

4. Autre expérience faite avec le même sable, mêlé d'amidon (50 grammes), pendant la même période, en haut de la tour; mêmes durée et conditions.

État initial (fin de juillet 1884).

			gr.
Sable (sec).........	770 gr. renfermant	Azote organique....	0,0548
		Azote nitrique......	0,0002
Amidon...........	50 gr.	Azote..............	0,0140
		Somme................	0,0690

État final (fin de septembre 1884).

			gr.
Sable sec + amidon séché (1)...	779 gr.	Azote organique....	0,0739
		Azote nitrique......	0,0002
		Somme...............	0,0741

Gain brut en azote........... 0gr,0049

41 grammes de sable environ ont été perdus; ils devaient renfermer :

Azote.................... 0gr,003;

ce qui porterait, en négligeant les déperditions dues à la pluie, le gain à................................ 0gr,009

(1) L'azote initial de l'amidon a été dosé isolément; mais à la fin, comme on ne pouvait séparer exactement l'amidon du sable, on a opéré le dosage d'azote sur l'ensemble.

chiffre très supérieur aux apports atmosphériques possibles ($0^{gr},0026$), et voisin du huitième de l'azote initial.

Ce gain répondrait à 8 kilogrammes par hectare.

5. Autre expérience, faite en haut de la tour; mêmes durée et conditions :

État initial (fin de juillet 1884).

			gr.
Sable (supposé sec)......	809 grammes.	Azote organique....	0,0576
		Azote nitrique......	0,0002
Amidon.................	50 —	Azote organique....	0,0140
		Somme................	0,0718

État final (fin de septembre 1884).

			gr.
Sable + amidon, séchés..	823 grammes.	Azote organique....	0,0870
		Azote nitrique......	0,0003
		Somme................	0,0873

Gain brut en azote........... $0^{gr},0153$

En tenant compte du sable perdu (27 grammes), le gain serait porté à.................................. $0^{gr},185$

chiffre qui surpasse de beaucoup les apports atmosphériques possibles, soit $0^{gr},0026$.

Il faudrait d'ailleurs, comme précédemment, y ajouter encore l'azote nitrique et autre, entraîné par les lavages dus à la pluie.

Ce gain, voisin de $0^{gr},016$, forme le quart de l'azote initial; il répondrait à 14 kilogrammes par hectare.

6. Autre expérience, en bas de la tour, dans la prairie, à $0^{m},70$ du sol; mêmes durée et conditions :

État initial (fin de juillet 1884).

			gr.
Sable (supposé sec)......	747 grammes.	Azote organique....	0,0531
		Azote nitrique......	0,0002
Amidon.................	50 —	Azote organique....	0,0140
		Somme................	0,0673

État final, fin de septembre 188[illegible].

			gr
Sable + amidon séchés..	[illegible]5 grammes.	Azote organique....	[illegible]
		Azote nitrique......	[illegible]
		Somme................	[illegible]

Gain brut en azote............ [illegible]

En tenant compte du sable perdu (22 grammes), le gain serait $0^{gr},01[illegible]5$. Il faudrait y ajouter encore l'azote nitrique et autre, perdu par les lavages dus à la pluie.

Tel quel, ce chiffre est très supérieur aux apports atmosphériques possibles ($0^{gr},0026$) : c'est le quart de l'azote initial. Il répond, en déduisant ces apports, à 13 kilogrammes par hectare.

J'avais entrepris des expériences semblables et simultanées avec les hydrates de carbone solubles, tels que la dextrine et la gomme. Mais ces matières ont été entraînées en proportion considérable par les lavages dus à la pluie, avec l'azote qui pouvait s'y être fixé. En outre, pendant les périodes de sécheresse consécutives aux pluies, il s'y est développé diverses fermentations : ce qui m'a empêché de donner suite à ce groupe d'essais et d'en pousser les analyses jusqu'au bout.

Dans tous les essais complets de la série que je viens d'exposer, il y a eu fixation d'azote : précisément comme dans les essais exécutés avec le même sable argileux, sans aucune addition. En effet, les résultats obtenus avec le sable mêlé de coton et d'amidon indiquent des gains d'azote de 5 kilogrammes à 14 kilogrammes par hectare, et cela pour un terrain presque stérile à l'origine. Ce sont ces premiers résultats, obtenus en 1884, qui m'ont engagé à instituer les expériences méthodiques, faites en 1885 et 1886 avec les terrains argileux sans aucun mélange, expériences que j'ai exposées plus haut.

En résumé, toutes les expériences faites avec les terrains argileux, seuls ou mêlés de petites quantités de matières organiques insolubles, toutes les expériences, dis-je, concourent à établir la fixation de l'azote atmosphérique sur les sols argileux. Elles établissent en outre qu'une telle fixation d'azote s'opère indépendamment des apports atmosphériques d'azote combiné. C'est ce que vont démontrer, d'une façon plus complète encore et sans réplique possible, les expériences faites en vases clos, lesquels éliminent toute influence attribuable aux composés azotés, tels que l'acide nitrique et l'ammoniaque, disséminés à faible dose dans l'atmosphère illimitée.

QUATRIÈME SÉRIE. — *Flacons bouchés à l'émeri.*

C'est ici la série fondamentale pour la démonstration de la fixation de l'azote par les sols argileux.

On a fait séjourner les terrains définis plus haut dans de grands flacons de verre blanc, de la capacité de 4 litres, remplis d'air, contenant 1 kilogramme de sable, et bouchés à l'émeri.

On s'est proposé, en outre, dans cette série, d'étudier l'influence de la lumière sur la fixation de l'azote. A cet effet, les flacons ont été, les uns placés dans l'obscurité (au sein d'une armoire bien close), les autres exposés à la lumière diffuse.

Remarquons ici que la dose de matière organique contenue dans 1 kilogramme de nos sables est peu considérable, étant demeurée comprise entre 1 et 2 grammes ; il en résulte que l'oxygène initial du flacon n'a pas été absorbé en totalité, du moins pendant le cours des expériences. Cette condition pourrait ne pas être réalisée, si l'on opérait

avec de la terre végétale proprement dite, bien plus riche en carbone organique, et elle pourrait influer dès lors sur le mode d'existence des microbes de cette terre, conservée en vases clos.

On a ajouté un peu d'eau (10 centimètres cubes d'ordinaire) dans chaque flacon, au début de l'expérience.

On les a ouverts une seule fois, pour prélever dans chacun 500 grammes de terre, destinés aux analyses. On agitait le vase de temps en temps. Pour les flacons placés dans l'obscurité de l'armoire, cette opération, ainsi que l'ouverture du flacon, a eu lieu la nuit.

Voici les résultats :

I. — Sable argileux jaune (défini aux p. 24 et 27).

Terre : 1 kilogramme.

État initial. — 30 avril 1885.

Eau pour 100 parties de matière brute, séchée à 110°..	2,08

ce qui fait, pour 1 kilogramme de terre sèche : 21gr,2

	gr.
Azote organique......................	0,0833
Azote des nitrates....................	0,0077
Somme...........	0,0910

Le 6 juillet, on a prélevé 500 grammes de terre, dans chacun des deux flacons. On a trouvé :

Terre : 1 kilogramme.

	Lumière.	Obscurité.
Eau pour 100, etc.....................	2,85	2,95
Soit pour 1 kilogramme sec...........	29gr,4	30gr,4
	gr.	gr.
Azote organique......................	0,0964	0,0879
Azote nitrique........................	0,0015	0,0046
Somme..............	0,0979	0,0925

Le 10 octobre, on a mis fin à l'expérience, en analysant les 500 grammes de terre restés dans chaque flacon.

Matière : 1 kilogramme.

	Lumière.	Obscurité.
Eau pour 100, etc.	3,02	2,77
Ce qui fait pour 1 kilogr. terre sèche...	31gr,1	28gr,6
	gr.	gr.
Azote organique	0,1222	0,1022
Azote nitrique	0,0067	0,0077
Somme	0,1289	0,1099

Le gain en azote est :

	gr.
Dans le flacon exposé à la lumière	0,0379
Dans le flacon maintenu dans l'obscurité	0,0189

Ainsi, il y a eu fixation d'azote libre sur ce sol conservé dans les flacons fermés, précisément comme à l'air libre.

Cette fixation a eu lieu progressivement : plus lentement aux débuts,

Mai à juillet .... 0gr,0069 et 0gr,0045

que par la suite

Juillet à octobre .... 0gr,031 et 0gr,0274;

comme si le phénomène était corrélatif du développement d'un être vivant.

La fixation d'azote a été moindre dans l'obscurité (0gr,0189) qu'à la lumière (0gr,0379) ; quoique réelle dans les deux cas.

Pendant l'espace de six mois, elle s'est élevée, à la lumière, à plus du tiers de l'azote initial. Dans l'obscurité, elle a été du cinquième de l'azote initial, pendant la même période.

L'état de nitrification, qui avait rétrogradé un peu aux débuts (juin à juillet), s'est rétabli vers la fin à son taux initial; il n'a donc pas exercé d'influence sensible sur la marche de la fixation de l'azote par le sol mis en expérience.

II. — Autre sable argileux (défini p. 31).

On y a ajouté de l'eau, à dose beaucoup plus forte que pour le sable précédent, de façon à porter cette dose à 100 grammes environ dans chaque flacon.

Terre : 1 kilogramme.

État initial. — 30 avril 1885.

	gr.
Azote organique	0,1101
Azote nitrique	0,0018
Somme	0,1119

Le 6 juillet, on a prélevé 500 grammes dans chaque flacon, pour la première analyse ; ce qui a fourni, pour 1 kilogramme de terre :

	Lumière (1).	Obscurité.
Eau pour 100, etc	9,79	10,6
Ce qui fait pour 1 kilogramme sec	109 gr.	119 gr.
	gr.	gr.
Azote organique	0,1169	0,1230
Azote nitrique	0,0019	0,0029
Somme	0,1188	0,1259

Le 10 octobre, fin de l'expérience, on a analysé les 300 grammes de terre restants.

Terre : 1 kilogramme.

	Lumière (2).	Obscurité.
Eau pour 100, etc	9,60	10,1
Ce qui fait pour 1 kilogramme sec	106 gr.	112 gr.
	gr.	gr.
Azote organique	0,1455	0,1343
Azote nitrique	0,0048	0,0029
Somme	0,1503	0,1372

(1) Il s'est développé des moisissures vertes, en raison, sans doute de la dose notable de l'eau ; ce qui n'a d'ailleurs été observé dans aucune autre expérience.

(2) Même remarque que plus haut, l'essai portant sur le même flacon.

Les faibles variations dans la dose de l'eau des deux échantillons tiennent aux évaporations et condensations locales, qui se sont produites à l'intérieur des flacons.

Le gain en azote est :

	gr.
Dans le flacon exposé à la lumière	0,0384
Dans le flacon maintenu dans l'obscurité	0,0253

Ce sont presque les mêmes nombres que pour le sable argileux (I) ; quoique la richesse en azote ne fût pas la même et la dose d'eau très inégale.

Ainsi, il y a eu fixation d'azote libre sur ce sol, dans les flacons comme à l'air libre.

La fixation a été progressive, plus lente aux débuts ; au moins dans le flacon exposé à la lumière,

Mai à juillet 0gr,0069

que par la suite,

Juillet à octobre 0gr,0315

Cependant, le flacon maintenu dans l'obscurité a donné deux nombres très voisins entre eux, pendant les mêmes périodes :

	gr.
Mai à juillet	0.014
Juillet à octobre	0,012

La fixation d'azote total a été moindre dans l'obscurité (0gr,026) qu'à la lumière (0gr,0384). En six mois à la lumière, elle s'est élevée au tiers de l'azote initial ; dans l'obscurité, à près du quart de l'azote initial.

La nitrification ne donne lieu à aucune observation spéciale ; si ce n'est relativement à sa petitesse, qui ne permet pas de lui faire jouer un rôle dans le phénomène.

III. — Argile, kaolin Fargetas (voir p. 25 et 34).

État initial. — 30 avril 1885.

Terre : 1 kilogramme.

Eau pour 100, etc	4,92
Ce qui fait, pour 1 kilogramme sec	51gr,8
	gr.
Azote organique	0,0206
Azote des nitrates	0,0004
Somme	0,0210

On a ajouté 10 grammes d'eau environ dans chaque flacon.

Le 6 juillet, premier prélèvement de 500 grammes dans chaque flacon.

Terre : 1 kilogramme.

	Lumière.	Obscurité.
Eau pour 100, etc	5,69	5,86
Ce qui fait, pour 1 kilogramme sec	60gr,3	62gr,2
	gr.	gr.
Azote organique	0,0392	0,0346
Azote nitrique	0,0002	0,0002
Somme	0,0394	0,0348

Le 10 octobre, prélèvement final.

Terre : 1 kilogramme.

	Lumière.	Obscurité.
Eau pour 100, etc	5,80	6,03
Ce qui fait, pour 1 kilogramme sec	61gr,6	64gr,1
	gr.	gr.
Azote organique	0,0494	0,0433
Azote nitrique	Traces	Traces
Somme	0,0494	0,0433

Le gain en azote est :

	gr.
Dans le flacon exposé à la lumière	0,0284
Dans le flacon resté dans l'obscurité	0,0233

nombres voisins de ceux qui ont été observés avec les sables argileux, quoique un peu plus faibles en valeur absolue; mais ils sont relativement plus forts, si on les compare à la dose d'azote initiale.

L'inégalité entre le flacon éclairé et le flacon obscur est moindre, cette fois, qu'avec les sables jaunes.

Ainsi, il y a eu fixation d'azote libre sur ce sol, dans les deux flacons, à la lumière comme dans l'obscurité.

La fixation s'est opérée, cette fois, plus vite dans la première période,

Mai à juillet, respectivement...... 0gr,0184 et 0gr,0138

que dans la seconde,

Juillet à octobre, respectivement... 0gr,010 et 0gr,085;

mais elle a été toujours progressive, et un peu plus faible dans l'obscurité (0,0223) qu'à la lumière (0,0284).

Enfin, l'azote a plus que doublé dans les deux cas.

La nitrification a été insignifiante; probablement en raison du développement d'un peu de matière végétale verte : développement qui n'a pas entravé la fixation de l'azote par le sol, dans les conditions du moins de l'expérience actuelle; car la végétation, dès qu'elle devient active, tend à consommer de l'azote, comme il sera dit dans l'un des Chapitres suivants. Mais, je le répète, cette action était trop faible pour entraver l'expérience actuelle.

IV. — Autre Argile, kaolin Nennert (*voir* p. 25).

État initial. — 30 avril 1885.

Terre : 1 kilogramme.

Eau pour 100, etc.	4,65
Ce qui fait, pour 1 kilogramme sec	48gr,4

	gr.
Azote organique	0,1045
Azote des nitrates	0,0020
Somme	0,1065

On ajoute de l'eau dans les flacons, sans la doser.

L'essai fait avec le flacon exposé à la lumière a été perdu, par suite d'un accident. Voici les chiffres fournis par le flacon resté dans l'obscurité :

Terre : 1 kilogramme.

	1885.	
	30 juin.	10 octobre.
Eau pour 100, etc		9,35
Ce qui fait pour 1 kilogramme sec		103 gr.
	gr.	gr.
Azote organique	0,1120	0,1181
Azote nitrique	0,0028	0,0055
Somme	0,1148	0,1236

Cette expérience a mal marché ; sans doute à cause du peu d'homogénéité de cette argile et de sa difficile pénétration par les gaz (*voir* p. 25 et 36). Cependant elle a donné lieu au même résultat définitif que les précédentes ; c'est-à-dire à une fixation d'azote s'élevant à $0^{gr},0171$, et opérée progressivement :

	gr.
Mai et juin	0,0083
Juillet à octobre	0,0088;

en tout un sixième de l'azote initial.

Ainsi, la fixation de l'azote en vases clos a eu lieu sur tous les terrains étudiés, et elle s'est faite d'une manière progressive : précisément comme à l'air libre, et suivant des proportions du même ordre.

Elle s'est opérée dans l'obscurité, aussi bien qu'à la lumière diffuse, mais plus activement sous cette dernière influence.

Enfin la fixation de l'azote sur les terrains argileux, sous la forme d'acide nitrique ou d'ammoniaque, n'a été constatée dans aucun cas. Elle s'est effectuée cependant, mais sous la forme de composés amidés complexes, insolubles, de l'ordre de ceux qui existent dans les êtres vivants. Ces composés sont hydrocarbonés; j'établirai plus loin l'existence d'une proportion notable de carbone dans les terrains mis en expérience (*voir* le second Chapitre). Ces faits indiquent que l'action fixatrice d'azote est attribuable à des micro-organismes.

J'ai cru nécessaire de pousser plus loin la démonstration, en effectuant la contre-épreuve qui consiste à stériliser les terrains; il suffit de les porter à une température capable d'y détruire les êtres vivants, sans altérer sensiblement la constitution des composés chimiques que ces terrains renferment. On cherche alors si le terrain ainsi traité conserve encore la propriété de fixer l'azote atmosphérique : or c'est une propriété qu'il a complètement perdue, comme je vais l'établir.

CINQUIÈME SÉRIE. — *Stérilisations.*

1 kilogramme de chacun des sables argileux précédents, de richesse connue en azote, a été placé dans un flacon de 4 litres, et le tout porté à 100 degrés, pendant deux heures, dans un grand bain-marie où le flacon était complètement immergé. Comme toutes les parties pouvaient n'avoir pas atteint cette température, on a pris soin de compléter l'action par un courant de vapeur d'eau, prolongé pendant cinq minutes.

Un thermomètre intérieur passait à travers le bouchon du flacon, où il était rendu mobile à l'aide d'un caoutchouc. Il a été placé d'abord au centre du flacon, puis promené dans ses diverses régions ; ce qui a permis de vérifier que la température de 100° était réellement atteinte partout.

Cela fait, et sans arrêter le courant de vapeur d'eau, on enlève le bouchon du flacon et on le remplace par un autre bouchon, ajusté à l'avance et percé dans son axe d'un trou vertical que traverse un tube de verre, recourbé au dehors à angle droit, puis renflé extérieurement en forme d'ampoule : l'ampoule se termine par une pointe effilée. Elle est destinée à filtrer l'air, qui doit rentrer pendant le refroidissement.

Voici quelles précautions ont été prises pour cette filtration. Dans l'ampoule et dans une portion du tube qui la suit, on a disposé d'avance un tampon de coton, glycériné préalablement. Le bouchon avec son tube et son ampoule à coton glycériné ont été alors déposés dans une étuve, et celle-ci maintenue pendant plusieurs heures à la température de 130° : opération qui a pour but de stériliser le bouchon, son tube, son ampoule et le coton glycériné, destiné à tamiser l'air et à le débarrasser de ses poussières.

Cette opération accomplie, on sort le bouchon de l'étuve et on le dispose aussitôt sur la tubulure du flacon de 4 litres renfermant la terre et déjà porté à 100° pendant deux heures ; on fixe le bouchon, sans extraire ce flacon de son bain-marie. Au moment même, on arrête le courant final de vapeur d'eau qui traversait ce flacon pour en compléter l'échauffement, ainsi qu'il vient d'être dit. Aussitôt après avoir posé le bouchon sur le col du flacon, on le recouvre extérieurement de cire fondue. Puis on laisse refroidir très lentement le bain-marie, de façon que l'air extérieur ne puisse péné-

trer que peu à peu dans le flacon, et cela, en traversant le tampon de ouate glycérinée, qui en arrête complètement les poussières.

Cela fait, les ballons ont été abandonnés à eux-mêmes, du 10 juillet au 6 octobre 1885. On a opéré avec les quatre terrains déjà employés dans les expériences ci-dessus.

Voici les résultats observés.

I. — **Sable argileux** (p. 24 et 26).

Terre : 1 kilogramme.

Eau pour 100, etc.	1,91	1,45
Ce qui fait pour 1 kilogramme sec.	19gr,5	14gr,7

	Avant chauffage.	Après chauffage et conservation.
	gr.	gr.
Azote organique	0,1035	0,0991
Azote des nitrates	0,0074	0,0055
Somme	0,1109	0,1046

On voit d'abord que le sable s'est desséché dans le flacon à 100°, et que la vapeur d'eau introduite à la fin ne lui a pas restitué toute l'eau perdue d'abord. Cependant la dose d'eau qui restait était comparable à celle que le sable renfermait lorsqu'il fixait l'azote (p. 27). Or la dose d'azote n'a pas augmenté pendant les trois mois de conservation. Elle a même été trouvée un peu plus faible qu'avant le chauffage : ce qui est dû sans doute à quelque réaction, minime d'ailleurs, qui se sera produite au moment du chauffage par la vapeur d'eau, aux dépens de la matière azotée, et à l'élimination de l'ammoniaque résultante.

II. — Autre sable argileux (p. 31).

Terre : 1 kilogramme.

	Avant chauffage.	Après chauffage et conservation.
Eau pour 100, etc..................	4,00	3,53
Ce qui fait pour 1 kilogramme sec..	41gr,7	36gr,5
	gr.	gr.
Azote organique...................	0,1384	0,1270
Azote nitrique.....................	0,0048	0,0031
Somme...........	0,1432	0,1301

La dose d'azote a cessé de croître; elle a même un peu diminué, sans doute pour les motifs signalés avec le sable précédent.

III. — Argile kaolin Fargetas (p. 25).

Terre sèche : 1 kilogramme.

	Avant chauffage.	Après conservation.
Eau pour 100, etc..................	4,48	4,08
Ce qui fait pour 1 kilogramme sec..	46gr,7	42gr,5
	gr.	gr.
Azote organique...................	0,0329	0,0301
Azote des nitrates.................	0,0000	0,0000
Somme...........	0,0329	0,0301

Observations identiques aux précédentes.

IV. — Autre kaolin Nennert (p. 25).

Terre : 1 kilogramme.

	Avant chauffage.	Après conservation.
Eau pour 100, etc..................	4,57	4,30
Ce qui fait pour 1 kilogramme sec..	47gr,7	44gr,9
	gr.	gr.
Azote organique...................	0,0622	0,0603
Azote nitrique.....................	0,0029	0,0035
Somme...........	0,0651	0,0638

Mêmes observations.

Ainsi, dans toutes ces expériences, l'azote est resté stationnaire ; il a même un peu diminué, en raison de la réaction initiale de la vapeur d'eau. Les nitrates sont aussi demeurés stationnaires, les petites variations observées ne dépassant pas la limite des erreurs d'expérimentation.

Il résulte de ces observations que le chauffage a détruit dans tous ces terrains la cause de fixation de l'azote : ce qui autorise à attribuer cette cause à un être vivant. Cette opinion est confirmée d'ailleurs par le fait que l'azote fixé réside dans des composés organiques (p. 69).

Les terrains ainsi stérilisés ont été soumis à diverses contre-épreuves nouvelles. Ainsi, on a vérifié qu'ils n'ont pas repris leur aptitude à fixer l'azote, pendant la même période de temps (trois mois) ;

Ni sous l'influence de l'air libre, dans la chambre intérieure, où s'étaient faites toutes les séries de ces expériences ;

Ni par une addition d'une petite quantité de la terre originelle, non stérilisée.

C'est ce que montrent de nombreuses analyses ; je vais donner les principales.

I. — Sable jaune stérilisé.

1. *État initial.*

Terre : 1 kilogramme.

Eau pour 100, etc.	1,45
Ce qui fait pour 1 kilogr. de terre sèche.	14gr,7
	gr.
Azote organique	0,0991
Azote nitrique	0,0055
Somme	0,1046

2. Le même sable, abandonné à l'air libre dans un bal-

lon ouvert aussitôt après chauffage. Du 10 juillet au 6 octobre 1885.

Terre : 1 kilogramme.

Eau pour 100, etc.	0,93
Ce qui fait pour 1 kilogramme sec	9gr,4
	gr.
Azote organique	0,0908
Azote nitrique	0,0067
Somme	0,0975

L'azote nitrique est toujours demeuré sensiblement le même. Quant à l'azote organique, il est un peu plus faible : probablement parce que la vapeur d'eau avait agi un peu plus, pendant l'échauffement à 100°, sur le flacon qui a été abandonné ensuite à l'air libre, que sur le témoin qui a servi à constater l'état initial du sable stérilisé. En tout cas, l'azote n'a pas augmenté sous l'influence des poussières atmosphériques.

3. Le même sable. Après stérilisation, on a ouvert le ballon le lendemain, on y a introduit quelques grammes de sable non stérilisé, et l'on a rebouché le ballon, sans précautions spéciales d'ailleurs. On a abandonné le ballon à lui-même, du 10 juillet au 6 octobre 1885. On a obtenu alors, par l'analyse :

Terre : 1 kilogramme.

Eau pour 100, etc.	1,94
Ce qui fait pour 1 kilogramme sec	19gr,6
	gr.
Azote organique	0,0970
Azote nitrique	0,0072
Somme	0,1042

Ce sont les mêmes chiffres que dans l'état initial stérilisé. Le sable additionnel n'a donc pas rétabli la faculté de

fixer l'azote, au moins pendant la durée de cet essai; probablement parce que la dose du sable ajouté est faible et que la multiplication des êtres organiques qu'il renferme ne s'opère que lentement.

4. Le même sable, chauffé simplement à 130° dans une étuve, refroidi, puis additionné de quelques grammes de sable non chauffé. Conservé en vase ouvert, du 10 juillet au 6 octobre 1885. On a obtenu alors par l'analyse :

Terre : 1 kilogramme.

Eau pour 100, etc.	1,94
Ce qui fait pour 1 kilogramme sec.	19gr,6
	gr.
Azote organique	0,0966
Azote nitrique	0,0051
Somme	0,1017

Ce sont toujours à peu près les mêmes chiffres.

Dans ce laps de temps, la chute des poussières de l'air, jointe à l'addition d'une petite quantité de sable non chauffé, n'a donc pas rétabli la faculté de fixer l'azote ; conformément à ce qui a été dit à l'occasion de l'essai n° 3.

5. Même sable, chauffé à l'étuve à 130° ; additionné, après refroidissement, de 25 grammes d'eau distillée. Conservé en vase ouvert, du 10 juillet au 6 octobre 1885.

Terre : 1 kilogramme.

Eau pour 100, etc.	2,65
Ce qui fait pour 1 kilogramme sec.	27gr,4
	gr.
Azote organique	0,1027
Azote nitrique	0,0065
Somme	0,1092

Ici il semblerait que l'action aurait recommencé, sous les influences simultanées de l'eau et des poussières de l'air ;

mais si faiblement, en définitive, dans la durée de cette expérience, qu'il y a doute.

II. — **Argile kaolin Fargetas** (p. [illegible]).

Les numéros (1), (2) à (5) désignent les mêmes conditions définies dans les pages précédentes, sous les mêmes numéros de paragraphes, pour le sable ([illegible]) :

Terre : 1 kilogramme.

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Eau pour 100, etc.	4,08	2,64	»	2,54	2,56
pour 1 kilogr. sec	42gr,5	27gr,1	»	26gr,0	26gr,9
	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
Azote organique	0,0301	0,0303 (2 dosages)	0,0295	0,0301	0,0280
Azote nitrique	0,0000	Traces.	Traces.	0,0004	0,0009
Somme	0,0301	0,0303	0,0295	0,0305	0,0289

Ce sont toujours les mêmes chiffres, observables après la série des traitements définis dans le texte, que pour l'état initial stérilisé.

Ces résultats sont décisifs. Ils montrent en effet que la faculté de fixer l'azote aux dépens de l'atmosphère n'est pas due à une action chimique proprement dite, s'exerçant indépendamment de la vie des êtres organisés.

On voit en même temps que, dans les expériences où le sol n'a pas été stérilisé, on ne saurait supposer que l'azote ammoniacal de l'atmosphère ait été fixé directement sur le sable argileux puis transformé à mesure, par des actions purement chimiques, en composés complexes. Car ces actions auraient dû continuer à s'exercer sur les sols, après qu'ils ont été chauffés à 100° : ce qui n'a pas eu lieu.

Du reste, l'hypothèse qui expliquerait la fixation de l'azote

par l'azote ammoniacal de l'atmosphère est écartée par les analyses faites en vases clos. Elle ne saurait subsister davantage, même au contact de l'air, en présence des dosages comparatifs faits au moyen de l'acide sulfurique étendu, lesquels établissent que cette cause de fixation, quelque exagérée qu'elle soit par un tel acide, serait complètement insuffisante pour rendre compte du phénomène (p. 50 et 54). Elle est d'ailleurs, je le répète, complètement éliminée dans les expériences faites en vases clos, à l'abri dès actions de l'atmosphère illimitée.

En résumé, les terrains argileux étudiés, sables et kaolins, possèdent la propriété de fixer lentement l'azote atmosphérique libre. Cette aptitude est indépendante de la nitrification, aussi bien que de la condensation de l'ammoniaque atmosphérique ; elle est attribuable à l'action de certains organismes vivants. Elle n'est pas manifeste en hiver ; mais elle s'exerce surtout pendant la saison d'activité de la végétation. Une température de 100° l'anéantit. Elle s'exerce aussi bien dans un flacon fermé, qu'au contact de l'atmosphère ; aussi bien à l'air complètement libre, au sommet d'une tour, que sous un abri, au voisinage du sol couvert de végétation ; ou bien encore dans une chambre close, à l'intérieur d'un bâtiment. Elle a lieu dans l'obscurité, comme à la lumière, quoique plus activement dans le second cas.

Les chiffres suivants, tirés de mes expériences, précisent cette fixation opérée sur 1 kilogramme des divers sols, pendant une saison (avril à octobre 1885) :

		Azote final.			
Substance.	Azote initial.	Flacon fermé (lumière).	Chambre close.	Prairie.	Tour.
	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
Sable jaune (I)..........	0,0910	0,1289	0,1179	0,0983	»
Sable (II)................	0,1119	0,1503	0,1639	0,1295	0,1396
Argile kaolin (III)......	0,0210	0,0495	0,0407	0,0353	0,0557
Kaolin (IV)..............	0,1065	0,1236	»	0,1144	0,1497

On voit que la fixation de l'azote est du même ordre de grandeur dans les quatre cas, sans que l'exposition à l'air ait donné lieu à quelque accroissement particulier, attribuable aux composés azotés, ammoniaque ou acide azotique, apportés par l'atmosphère. L'apport possible de ces derniers demeurerait en tout cas, d'après les expériences citées, fort au-dessous des quantités d'azote réellement fixées. Enfin, il ne saurait en être question dans les expériences faites en flacons fermés, les plus décisives de toutes.

Attachons-nous au poids absolu de l'azote absorbé par 1 kilogramme de matière. Il s'est élevé, au contact de l'air :

Avec le sable (I) :

Dans la chambre, pendant la première saison (1884), à..................	22	milligrammes.
Pendant la seconde saison (1885 et dans la chambre, à..............	24	—
En flacon fermé (même saison), à...	38	—

Avec le sable (II), les gains pendant la saison de 1885 ont été :

Dans la chambre..................	52	milligrammes.
En flacon fermé....................	38	—
Dans la prairie.........	18	—
Sur la tour.......................	28	—

Mais ces deux dernières valeurs sont trop faibles, les lavages dus à la pluie ayant dû amener des déperditions.

Avec le sable (III), les gains, pendant la saison de 1885, ont été :

Dans la chambre..................	20	milligrammes.
En flacon fermé....................	28	—
Dans la prairie....................	14	—
Sur la tour.........................	35	—

Ce kaolin était très pauvre en azote au début.

Si l'on rapproche de ces chiffres la surface des pots em-

ployés dans la prairie et sur la tour (113 centimètres carrés), ils conduiraient, pour une surface de 1 hectare de terre nue, sans végétation supérieure, à des fixations d'azote telles que :

20 kilogrammes pour le sable (I);
20 kilogrammes et 25 kilogrammes pour le sable (II);
32 kilogrammes pour le kaolin (III);

nombres que je donne seulement pour fixer les idées. Ils sont, en effet, beaucoup trop faibles, parce qu'ils se rapportent à des épaisseurs de sol minimes, telles que 8 à 10 centimètres; tandis que l'absorption de l'azote s'est accomplie tout aussi bien et proportionnellement sous une épaisseur quintuple (45 centimètres), dans les pots de la chambre intérieure, d'après mes expériences. En quintuplant les chiffres ci-dessus, on aurait donc une idée plus exacte de la grandeur du phénomène. J'y reviendrai d'ailleurs dans un autre Chapitre, consacré aux expériences sur la terre végétale proprement dite.

On comprendra mieux l'ordre de grandeur du phénomène, si l'on observe, d'une part, que les apports d'azote, dus à l'azote, tant nitrique qu'ammoniacal, des eaux de pluie, à Rothamsted, sont évalués, par MM. Lawes et Gilbert, à 8 kilogrammes par hectare (1). A Montsouris, dans Paris, c'est-à-dire dans une ville, on a trouvé pour ces mêmes apports : 17 kilogrammes en 1883.

Or, la quantité d'azote soustraite au sol annuellement, lorsqu'on enlève la récolte d'une prairie, serait voisine de 50 à 60 kilogrammes par hectare, d'après les évaluations reçues. La déperdition annuelle en azote serait, dès lors, voisine de 40 à 50 kilogrammes, aux dépens de la terre végétale d'un hectare. A la vérité, celle-ci y suffit pendant

(1) GRANDEAU, *Cours d'Agriculture*, t. I, p. 452; 1879.

un certain temps, parce qu'elle renferme dans ses couches superficielles de 1 à 2gr,5 d'azote par kilogramme, c'est à-dire 50 à 100 fois autant peut-être qu'elle est susceptible d'en perdre en une saison, par l'enlèvement des récoltes, ou bien qu'il s'en est fixé en sens inverse pendant une saison, sur les terrains argileux que j'ai étudiés. Mais il est incontestable que la terre végétale d'une prairie ou d'une forêt s'appauvrirait peu à peu, par le fait de la végétation, joint à l'enlèvement des récoltes, s'il n'existait pas de causes compensatrices, plus énergiques que les apports météoriques, et susceptibles de régénérer à mesure les composés azotés du sol.

En fait, et malgré ces déperditions incessantes, toutes les fois qu'on n'épuise pas la terre par une culture intensive, la vie végétale se reproduit dans les prairies et dans les forêts, en vertu d'une rotation indéfinie. Or, les expériences actuelles mettent en évidence l'un des mécanismes de cette régénération, indispensable pour rendre compte de la fertilité continue des sols naturels. Elles expliquent en même temps comment des sables argileux, presque stériles au moment où ils sont amenés au contact de l'atmosphère, peuvent cependant servir de support et d'aliment à des végétations successives, de plus en plus florissantes, parce qu'elles utilisent à mesure l'azote fixé annuellement par ces sables, ainsi que celui des débris des végétations d'années antérieures, dont le carbone dérive de l'atmosphère; débris accumulés et associés aux sables argileux du début, de façon à constituer à la longue la terre végétale.

CHAPITRE II

SUR LA MATIÈRE ET LE CARBONE ORGANIQUE CONTENUS DANS LES SOLS QUI FIXENT L'AZOTE LIBRE

Les recherches que j'ai faites sur la fixation directe de l'azote libre par divers terrains argileux, fixation qui s'opère par l'intermédiaire de certains organismes, m'ont conduit à chercher quelque autre mesure, propre à indiquer la proportion même de ces organismes. Il ne paraît pas possible d'isoler sous un poids sensible ces organismes; mais on peut se faire une idée de leur abondance, en dosant le carbone constitutif de leurs tissus. Je crois utile d'entrer dans quelques détails sur ces analyses, qui soulèvent des problèmes nouveaux et très délicats.

Le dosage du carbone dans les sols s'opère en principe par les méthodes ordinaires, je veux dire par la combustion au moyen de l'oxyde de cuivre, puis de l'oxygène. Seulement il convient d'opérer sur 30 grammes des sables ou argiles de nos expériences, sables extrêmement pauvres en matière organique; ce poids étant calculé de façon à permettre de récolter environ 100 milligrammes d'acide carbonique. Si l'on opérait sur une terre arable beaucoup plus riche en carbone, un poids dix ou quinze fois moindre suffirait.

Quant à l'hydrogène organique, son dosage ne paraît guère possible, à cause de la dose d'eau considérable que retiennent les terres séchées à 100 degrés; température qu'il

ne serait pas prudent d'ailleurs de dépasser, pour ne pas risquer d'altérer la matière organique. Cependant j'ai pris soin, dans tous les cas, de doser l'eau fournie par la combustion.

Le dosage même du carbone offre une difficulté spéciale, tenant à la présence des carbonates, à celle des carbonates de chaux et de magnésie en particulier, dans les terres arables et dans les sables argileux ; or ces carbonates sont susceptibles de se décomposer, en tout ou en partie, pendant la combustion. Il est donc indispensable de les détruire au préalable au moyen d'un acide étendu ; nouvelle opération qui n'est pas, elle aussi, sans introduire quelque complication. Pour y parvenir, on doit employer un excès d'un acide étendu, acide nécessairement minéral, volatil et non oxydant : ce qui nous limite à l'acide chlorhydrique.

On dose l'acide carbonique ainsi dégagé, en faisant bouillir la masse un instant à 100 degrés, dans un matras traversé par un courant d'air (privé d'acide carbonique). On fait passer les gaz qui sortent du matras à travers un appareil dessiccateur à acide sulfurique, lequel enlève la vapeur d'eau; appareil suivi d'un tube de Liebig à boules et d'un tube à potasse solide, destinés à absorber définitivement l'acide carbonique. L'acide carbonique des carbonates peut être ainsi dosé avec exactitude.

Cela fait, on lave, par décantation, la terre qui reste dans le matras, jusqu'à absence de chlorures et d'acide chlorhydrique. On la dessèche au bain-marie et on l'introduit enfin dans le tube à combustion. Le carbone organique y est alors dosé avec certitude.

Mais le nombre obtenu par là est un minimum. En effet, en suivant cette marche, on n'obtient qu'une portion du car-

bone organique, à savoir le carbone des composés insolubles dans l'eau et dans l'acide chlorhydrique étendu. Une autre portion de carbone, celui des composés solubles, ou devenus tels sous l'influence des acides étendus, disparaît dans les eaux du lavage.

Pour obtenir cette portion simultanément, j'ai employé l'artifice suivant : la dose des carbonates étant connue par les dosages précédents, dose très faible d'ailleurs ; on calcule la quantité d'acide chlorhydrique étendu, nécessaire pour les décomposer, et on la verse sur le sable argileux, avec un très petit excès d'acide. On dessèche le tout au bain-marie : ce qui détruit les carbonates, sans éliminer les composés solubles; puis on dose le carbone dans le résidu, par combustion. Seulement, pour ce dosage, il faut avoir soin d'ajouter une longue colonne de cuivre métallique dans le tube à combustion, en avant du tube à ponce sulfurique, afin d'arrêter l'acide chlorhydrique ou le chlore, qui pourraient être fournis par la décomposition des chlorures.

On obtient ainsi le carbone organique total. On a, d'autre part, par la première analyse, le carbone des composés insolubles : la différence donne le carbone des composés solubles, ou susceptibles de le devenir par l'action des acides étendus.

Enfin le dosage de l'azote organique, effectué sur les mêmes terres, fournit un dernier terme de comparaison.

Voici les résultats des analyses de ce genre, accomplies sur certains échantillons des sols argileux employés dans mes expériences sur l'absorption de l'azote. Les nombres sont rapportés à 1 kilogramme de matière séchée à 100 degrés.

	total.	Carbone organique des composés insolubles.	Carbone organique des composés solubles.	Azote organique.	Acide carbonique des carbonates.
	gr.				
Sable argileux (I).......	0,819	0,638	0,181	0,093	0,020
» autre échantillon qui avait subi des traitements préalables différents.......	1,908	0,704	1,204	0,094	0,081
Sable argileux (II).....	1,784	1,244	0,540	0,141	0,378
» autre échantillon, traité différemment................	1,908	0,852	0,328	0,139	0,328
Kaolin III............ ..	0,916	0,233	0,683	0,025	0,133
» autre échantillon, traité différemment....	1,171	0,214	0,957	0,024	0,219
Kaolin IV..............	0,563	0,361	0,202	0,067	0,068
» autre échantillon, traité différemment................	1,209	0,630	0,579	0,065	0,101

Il résulte de ces analyses que : 1 kilogramme des divers sols qui fixent l'azote libre contenait, vers la fin des expériences, de 1 à 3 grammes environ de matière organique (en ajoutant approximativement au poids du carbone celui de l'hydrogène et de l'oxygène complémentaires). Une partie de cette matière constituait les tissus des êtres qui ont opéré la fixation de l'azote.

La proportion relative du poids du carbone des composés solubles, au poids du carbone des composés insolubles, a varié suivant des circonstances inconnues et peut-être dépendant en partie des procédés analytiques.

Pour comparer le poids du carbone organique à celui de l'azote correspondant, il convient de se rappeler que la proportion du poids de l'azote des principes albuminoïdes au poids de leur carbone est à peu près comme 1 : 3 1/2. En admettant que l'azote organique des sols argileux s'y trouvât sous la forme de principes albuminoïdes, ces derniers

renfermeraient dès lors, dans les sables argileux et dans le kaolin (IV), une proportion de carbone comprise entre les 2 et les 4 dixièmes du carbone total. Dans le kaolin (III), le plus pauvre en azote, ils en contiendraient 1 dixième seulement. Cette dernière proportion est de l'ordre de celle que l'on observe dans les tissus végétaux des plantes annuelles, pendant la période moyenne de leur développement. Mais les autres rapports méritent d'être remarqués, parce qu'ils sont plus considérables et intermédiaires entre la composition moyenne des tissus animaux et celle des tissus végétaux. On peut observer encore qu'ils sont comparables à la richesse en azote des jeunes plantes à leur début.

Ajoutons enfin que le carbone des albuminoïdes, comparé au carbone des composés insolubles, en formerait une fraction voisine de la moitié ou du tiers, dans la plupart des cas; tandis que sa proportion, comparée à celle du carbone des composés solubles, varie bien davantage. Ceci semblerait indiquer que les composés azotés de nos sols font surtout partie des principes susceptibles d'être rendus insolubles par la chaleur ou les acides, c'est-à-dire des albuminoïdes; tandis que les composés carbonés solubles sont formés principalement par des hydrates de carbone, solubles par eux-mêmes, ou avec le concours de l'acide chlorhydrique. J'indique avec réserve ces rapprochements; mais ils offrent un certain intérêt, comme fournissant une première caractéristique de ces organismes singuliers qui possèdent la propriété de fixer l'azote atmosphérique.

CHAPITRE III

FIXATION DIRECTE DE L'AZOTE GAZEUX DE L'ATMOSPHÈRE PAR LES TERRES VÉGÉTALES

De longues séries d'expériences, poursuivies pendant trois ans, m'ont permis d'établir que les sols et sables argileux absorbent directement l'azote gazeux de l'atmosphère : l'azote entre ainsi dans la constitution de certains organismes microscopiques, par l'intermédiaire desquels sa fixation semble s'effectuer. L'absorption de l'azote a lieu dans les terres placées au voisinage d'un sol gazonné, aussi bien que dans des flacons fermés à l'émeri.

La série des expériences réalisées dans cette dernière condition, c'est-à-dire au sein d'une atmosphère confinée, est particulièrement décisive ; car elle exclut jusqu'à la possibilité de l'intervention lente des composés azotés, existant en très petite quantité au sein de l'atmosphère illimitée. Des dosages comparatifs de l'ammoniaque atmosphérique ont établi d'ailleurs que celle-ci est à dose trop faible pour jouer, même à l'air libre, un rôle essentiel dans la fixation de l'azote. Mais, je le répète, les expériences faites en vase clos excluent absolument une telle intervention.

Ces résultats s'appliquent au phénomène pris dès ses origines, c'est-à-dire observé sur des sables presque exempts d'azote et de matière organique. J'ai pensé qu'il convenait de rechercher dans quelle mesure ils sont applicables aux terres végétales elles-mêmes, et spécialement aux terres formées

par l'action lente de la végétation sur les sols et sables argileux, employés dans les expériences précédentes, une fois que ces sables ont été extraits des profondeurs et amenés à la surface. L'étude en est d'autant plus intéressante que la fixation de l'azote en vases clos, par un tel sol, ne saurait être indéfinie, étant corrélative de l'accroissement des êtres vivants qui accumulent l'azote dans leurs tissus. En effet, les principes immédiats constitutifs de ces êtres renferment une dose de carbone limitée et qui ne saurait s'accroître dans un flacon fermé à l'émeri. Les mêmes sols, transformés en terres végétales proprement dites, c'est-à-dire enrichis par les débris d'un grand nombre de générations de plantes développées à l'air libre, conservent-ils ensuite, indépendamment de toute végétation, la faculté d'absorber l'azote gazeux ? Telle est la question que je me suis proposé d'examiner, avant d'aborder l'étude des mêmes terres, pourvues de plantes vivantes.

J'ai opéré dans les conditions suivantes. Chacune des expériences a été faite sur une masse de terre pesant environ 50 kilogrammes. Cette terre avait été séchée préalablement à l'air et à la température ordinaire, en l'étendant dans une chambre sur une grande surface et sous une faible épaisseur; puis on l'avait ameublie, débarrassée des cailloux et des débris apparents des végétations antérieures; enfin on l'avait mélangée avec soin et rendue homogène autant que possible.

On l'a introduite alors dans une série de grands pots, les uns en grès verni, d'autres en porcelaine, tous à large surface (1500 centimètres carrés environ). Ces pots avaient été fabriqués exprès et sur un modèle dessiné par moi; ils étaient percés à la partie inférieure d'un certain nombre de trous, destinés au drainage des eaux pluviales ou des eaux de lavage.

Chaque pot est d'une hauteur de 56 centimètres et d'un

diamètre intérieur moyen de 42 centimètres. Il est rempli presque entièrement de terre et on le pèse sur une bascule, avant et après ce remplissage, à un hectogramme près ; ce qui donne le poids de la terre. Quelques pierres siliceuses, disposées au fond, facilitent l'écoulement des eaux de drainage, amenées par la pluie ou par les arrosages.

Le pot est placé sur un plat de même diamètre, destiné à récolter les eaux. De là, les eaux qui ont traversé la terre s'écoulent par un tube qui les conduit dans un grand flacon disposé au-dessous. On les enlève à mesure, pour les analyser aussitôt.

On peut opérer avec un tel pot rempli de terre, sans y développer aucune végétation de plantes supérieures. Si quelques brins d'herbe viennent à y pousser par accident, on les arrache à mesure.

On peut, au contraire, semer ou repiquer à volonté des plantes dans un semblable pot, et diriger l'expérience en conséquence, comme je le montrerai dans le chapitre suivant.

Tantôt ce pot est laissé à l'air libre ; tantôt il est recouvert, à une distance d'un mètre, par un grand châssis horizontal vitré, lequel le préserve à peu près entièrement de la pluie : sans faire d'ailleurs obstacle ni à la lumière ni à la circulation de l'air.

De temps à autre, et tout au moins à la fin de l'expérience, on a prélevé une tranche verticale de terre, formant un secteur à partir du centre, et comprenant toute l'épaisseur de la terre, de la surface au fond du pot. Cet échantillon pesait 2 à 3 kilogrammes ; il était destiné à doser l'azote, les alcalis, les nitrates, etc. Après l'avoir enlevé, on nivelait de nouveau la terre dans le pot.

Les études ont été suivies pendant une saison entière : du mois de mai au mois de novembre 1886.

On a récolté simultanément et d'une façon directe, à l'aide d'un udomètre placé à côté des pots et de surface connue, les eaux pluviales ; lesquelles ont été analysées de suite, c'est-à-dire au fur et à mesure de chaque chute d'eau (p. 45-47). Ces analyses comprenaient l'ammoniaque, l'acide azotique et parfois l'azote organique.

Enfin l'ammoniaque gazeuse atmosphérique a été recueillie à l'air libre, comparativement, c'est-à-dire au voisinage, dans la même prairie, et à la même distance du sol : on opérait au moyen de petites capsules à fond plat, renfermant de l'acide sulfurique étendu (*voir* p. 50). On prenait soin de recouvrir ces capsules, régulièrement et avec beaucoup de vigilance, chaque fois qu'il tombait de la pluie dans la station de Chimie végétale de Meudon, endroit situé à une altitude de 160 mètres. L'air y est très pur et sans cesse balayé par le vent. Les quantités d'ammoniaque gazeuse, ainsi récoltées, sont plus faibles que dans Paris ou dans son voisinage immédiat (*voir* p. 49). Les résultats observés sont d'ailleurs un maximum : la terre émettant en fait l'ammoniaque sur certains points, comme nous l'avons constaté avec M. André ; tandis qu'elle en absorbe sur d'autres, à dose plus forte à la vérité. Cette absorption même, telle qu'elle peut être opérée par la terre, est assurément moins active que par l'acide sulfurique (*voir* ce volume, p. 54).

Voici la liste de toutes mes expériences ; les six premières ont été faites sur un même échantillon de terre.

Pot n° 1. — Terre n'ayant subi aucun lavage ou traitement préliminaire, exposée à l'air libre et à la pluie, ne portant aucune végétation de plantes supérieures.

Pot n° 5. — Terre lavée jusqu'à épuisement des nitrates initiaux. — Sans végétation supérieure. — A l'air libre et à la pluie.

Pot n° 3. — Terre lavée jusqu'à épuisement des nitrates initiaux. — Sans végétation supérieure. — Conservée sous un hangar ouvert, mais à l'abri de la pluie.

Pot n° 6. — Terre n'ayant subi aucun traitement, exposée à l'air libre et à la pluie; on y a fait développer des pieds d'Amarante. Nous l'examinerons plus loin au point de vue de la fixation de l'azote, nous réservant d'y revenir ailleurs, à d'autres points de vue.

Pot n° 2. — Terre lavée jusqu'à épuisement des nitrates initiaux; exposée à l'air libre et à la pluie. On y fait développer des pieds d'Amarante. Elle sera examinée plus loin.

Pot n° 4. — Mêmes conditions que le n° 2.

Deux autres expériences ont été faites avec des terres prises en d'autres points du terrain et plus riches en azote. Ces terres ont été tamisées finement et conservées dans un grenier, dans des pots simplement recouverts d'une planche.

Voici le résumé des résultats obtenus en l'absence de toute végétation de plantes supérieures: les résultats obtenus avec son concours faisant l'objet du chapitre suivant.

On a rapporté tous les résultats, par le calcul et pour les rendre comparables, à un poids identique de 50 kilogrammes de terre, supposée séchée à 100°, d'après le dosage de l'eau fait sur un échantillon. Les poids réels ont varié de $52^{kg},2$ à $59^{kg},5$.

1° Terre conservée dans un grenier, du 25 octobre 1885 au 20 novembre 1886 (treize mois).

On a dosé l'azote en opérant sur 10 grammes de terre environ, au moyen de la chaux sodée; ce qui a fourni, dans chaque analyse : $0^{gr},065$ à $0^{gr},075$ d'azote, proportion facile à doser avec exactitude. On a obtenu ainsi :

	gr.	gr.
Azote organique initial, dans 50 kilogr. (supposés secs)	65,5	65,85
Azote nitrique	0,35	
Azote final	74,5	74,88
Azote nitrique	0,38	

Le gain est de 9 grammes pour les 50 kilogrammes mis en expérience.

La proportion d'eau (perte à 100°) était, au début, de 8,68 centièmes de la terre sèche ; à la fin, de 1,53 centième ; c'est-à-dire que la terre s'était desséchée progressivement, comme il était facile de le prévoir d'ailleurs, dans les conditions de sa conservation.

Les nitrates ont été dosés par lavage et épuisement, en opérant sur 1 kilogramme de terre chaque fois. On a trouvé :

	gr.
Azote nitrique, dans 50 kilogrammes, au début...	0,35
» » à la fin......	0,38

La nitrification a donc été presque insensible dans cette terre ; sans doute en raison de sa dessiccation progressive. Ce résultat montre que la formation du nitre ne joue pas de rôle dans la fixation de l'azote par cette terre.

2° Autre échantillon de terre plus riche en azote, conservée dans un grenier pendant le même temps et dans les mêmes conditions (treize mois). On a trouvé :

	gr.	gr.
Azote initial, pour 50 kilogrammes (sec).	118,9	119,2
Azote nitrique	0,32	
Azote final	127,6	128,57
Azote nitrique	0,97	

Le gain est de 9gr,4 pour les 50 kilogrammes.

La proportion d'eau était, au début, de 8,25 centièmes de la terre sèche ; à la fin, de 3,10 centièmes : ce qui donne lieu à la même observation que ci-dessus.

Les nitrates ont été dosés comme plus haut On a trouvé :

		gr.
Azote nitrique, dans 50 kilogrammes, au début...		0,32
»	» à la fin....	0,97

Il y a donc eu nitrification : soit 1gr,7 de salpêtre formé dans 50 kilogrammes de cette terre; dose double de celle qui préexistait. Mais la formation du nitre, de quelque façon qu'on l'envisage, a joué peu de rôle dans le phénomène de la fixation de l'azote, celle-ci ayant été quatorze fois aussi considérable.

L'azote ammoniacal, susceptible d'être apporté sous forme gazeuse par l'atmosphère, a été dosé comparativement par l'acide sulfurique étendu (*voir* p. 50). En le rapportant à la même surface, exposée à l'air libre pendant le même temps, je trouve que cette dose d'azote s'élèverait au maximum à 0gr,096; tandis que les terres avaient fixé 9 et 9gr,4 d'azote. L'apport de l'ammoniaque atmosphérique à cette surface de terre est insignifiant, par rapport au chiffre total de l'azote fixé; car il n'en forme guère que la centième partie. Ce chiffre même est exagéré, car il suppose l'action de la terre sur l'ammoniaque atmosphérique égale à celle de l'acide sulfurique; tandis qu'elle est assurément moins intense (*voir* p. 54).

3° Pot n° 3. — Terre lavée à l'avance, de façon à l'épuiser de nitrates, puis placée sous un hangar ouvert; du 24 mai au 20 novembre 1886 (sept mois). Surface : 1530 centimètres carrés. La proportion initiale de l'eau était : 13,28 centièmes de la terre sèche; la proportion finale : 5,14 p. 100. On a trouvé :

	gr.
Azote initial......	54,6
Azote final....	63,3

Le gain est de 8gr,7 pour les 50 kilogrammes ; sans compter

l'azote des nitrates engendrés, qui s'élevait à quelques décigrammes.

Ce chiffre répond à une fixation relative plus marquée que celle observée sur les terres précédentes, conservées au grenier ; car il s'applique à un temps presque moitié moindre : sept mois au lieu de treize.

L'azote ammoniacal gazeux, susceptible d'être fourni par l'atmosphère à la même surface d'acide sulfurique étendu, et au voisinage du même lieu, pendant le même temps, s'est élevé à une dose de $0^{gr},048$ (1) : dose maximum par rapport à celle que la terre a pu absorber, et cependant insignifiante par rapport au total ; car elle n'en dépasse guère la deux-centième partie.

4° Pot n° 1. — Terre non lavée à l'avance, sans végétation exposée à l'air libre, et par conséquent à la pluie. Surface 1520 centimètres carrés (sept mois).

La proportion initiale de l'eau ayant été déterminée, on en ajoute une dose convenable pour l'amener exactement à 10 centièmes de la terre sèche. La proportion finale était de 16,7 centièmes. Elle n'a pas varié d'une manière uniforme, comme dans les expériences précédentes ; mais elle a éprouvé des oscillations considérables, en raison des chutes de pluie et des évaporations et diminutions spontanées consécutives.

En ce qui touche l'azote, voici les résultats des analyses :

On a obtenu pour 50 kilogrammes de terre supposée sèche :

(1) Ce chiffre a été trouvé du même ordre de grandeur que la valeur obtenue en 1885 sur un point de la prairie distant de plus de cent mètres de celui de l'expérience présente, et dans un lieu autrement disposé : soit $0^{gr},0048$ pour une surface de 113 centimètres carrés, ce qui fait $0^{gr},063$ pour 1500 centimètres carrés ; le tout en six mois (*Voir* p. 53 et 54).

(I) *Apports pendant l'expérience.* — Du 24 mai au 20 novembre 1886.

Pour 50 kilogrammes de terre supposée sèche.

		gr.
Azote initial		50,37
Azote nitrique		0,38
Azote apporté par la pluie (d'après dosages udométriques)	ammoniacal	0,0475
	nitrique	0,013
	organique, env.	0,013
	Total	50,81

Apports de la pluie. — Voici le tableau des analyses de l'eau de pluie répondant au dosage total ci-dessus, exécuté aussitôt après chaque pluie, ou le jour suivant.

L'azote nitrique a été dosé en réunissant les échantillons par 3 ou 4, après l'ébullition avec la chaux éteinte destinée au dosage de l'ammoniaque ; opération qui détruit d'ailleurs les organismes vivants susceptibles d'altérer les nitrates.

Surface de l'udomètre : 706 centimètres carrés.

	Quantité recueillie.	Azote ammoniacal.	Azote nitrique.
	c.c.	gr.	
24 mai	625	0,00371	»
27 »	1140	0,00070	»
4 juin	1275	0,00010	»
7 »	4500	0,00297	»
10 »	1750	0,00199	»
15 »	675	0,00011	»
21 »	750	0,00136	»
27 »	290	0,00232	»
10 juillet	675	0,00144	»
15 »	650	0,00105	»
18 août	3600	0,00025	»
24 »	4500	0,00171	»
7 septembre	1175	0,00190	»
24 »	2260	0,00257	»
Total	23865	0,02218	0,0060

L'azote organique peut être évalué à un chiffre voisin de l'azote nitrique, d'après des essais que je ne rapporterai pas

ici. Cette évaluation est d'ailleurs conforme à celles de M. Frankland.

On a donc, pour une surface de 1 520 centimètres carrés :

Quantité d'eau de pluie	51lit,7
Azote ammoniacal	0gr,04846
Azote nitrique	0 ,013
Azote organique, environ	0 ,013

Tels sont les apports en azote, dans le pot n° 1. Le poids réel de la terre de ce pot étant 51 kilogrammes, on l'a ramené par le calcul à 50 kilogrammes.

(II) ***Produits à la fin de l'expérience*** (***rapportés à*** 50 **kilogrammes**).
20 novembre 1886.

Azote final de la terre	62gr,48
Azote nitrique, dosé dans l'eau de drainage, provenant de la pluie, mais récoltée après avoir traversé le pot	0 ,661
Azote ammoniacal dans cette même eau,	x
Total	63gr,14 + x

Le total de l'azote final surpassait donc 63gr,14.

Quoique le compte de l'azote entraîné dans les eaux de drainage soit compris dans le total précédent, il n'est pas inutile d'en donner un calcul séparé.

Déperdition par les eaux de drainage. — Voici le tableau des dosages de l'azote nitrique dans les eaux de drainage de ce pot, dosages exécutés à mesure, et aussitôt après la récolte de l'eau dans le flacon placé au-dessous :

	Quantité d'eau.	Azote nitrique.
	c.c.	gr.
3 juin	400	traces
7 »	4300	0,38092
8 »	3775	0,14097
10 »	444	0,00204
15 »	485	0,00086
21 »	665	0,00014
27 »	85	0,00000
Total	10154	0,52493

On remarquera que les nitrates préexistants ont été entraînés dès les premiers lavages, pendant la période comprise jusqu'au 8 juin.

Le poids total de l'azote des nitrates obtenus dans ces dosages a été supérieur à celui de l'azote des nitrates primitifs. En effet, celui-ci s'élevait, vers le 24 mai, à 0gr,382, d'après un dosage comparatif fait sur la même terre. Il s'était donc formé dans le pot un poids de nitrates renfermant la différence, soit 0gr,143 d'azote : ce qui répond à 1gr,02 de salpêtre pendant le mois de juin. Cette formation a eu lieu surtout aux dépens de l'azote organique des terres ; car, d'après les dosages faits simultanément sur l'eau de l'udomètre, la pluie a apporté seulement 0gr,007 d'azote nitrique, ammoniacal ou organique, pendant le même temps.

Il résulte encore de ces nombres, et c'est là une conséquence d'une grande importance, que les eaux de drainage ont entraîné soixante-dix fois autant d'azote que la pluie en a apporté pendant le même temps ; je reviendrai plus tard sur ce point.

Pour la suite de l'expérience, les dosages ont été faits de même, après chaque pluie ; mais, pour abréger, je me bornerai à donner les chiffres réunis par périodes.

	Quantité d'eau.	Azote nitrique.
	c.c.	gr.
Du 28 mai au 1er juillet	10154	0,52493
Du 15 juillet au 7 septembre.....	2400	0,07327
Du 7 septembre au 24 septembre.	1175	0,01676
Du 24 septembre au 9 octobre....	1100	0,05911
Total...........	14829	0,67407

D'après ces nombres, la quantité totale de l'eau de pluie qui a traversé le pot et qui a été recueillie est seulement de 14lit,8 ; tandis que le pot a reçu 51lit,7. La différence résulte surtout de l'évaporation ; car la terre ne retenait pas à la fin une dose

d'eau bien différente de celle qu'elle contenait d'abord, l'excès étant exactement de 3^{kg},35. Dans l'intervalle des pluies, la terre revenait rapidement à son état de porosité initiale, état tel que les gaz y pénétraient assez librement.

L'azote nitrique, entraîné par les eaux de drainage, a été presque double de l'azote nitrique initial. Son chiffre total, soit 0^{gr},674 (pour 51 kilogrammes de terre), surpasse de beaucoup l'azote nitrique, ammoniacal et organique, apporté par la pluie, soit 0^{gr},03. La pluie, combinée avec le drainage, n'a donc pas eu pour effet définitif d'enrichir cette terre en azote; mais elle lui en a fait perdre, au contraire, une dose considérable: soit 0^{gr},661 pour 50 kilogrammes.

Revenons maintenant à l'objet fondamental de notre étude. D'après les nombres précédents, les produits en azote surpassent notablement les apports. Il en résulte en effet que les 50 kilogrammes de terre mis en expérience ont fixé (en tenant compte de l'azote des nitrates entraînés par drainage) un chiffre supérieur à

$$63^{gr},14 - 50^{gr},76 = 12^{gr},38 \text{ d'azote}$$

en sept mois, dans les conditions définies ci-dessus.

L'azote ammoniacal, apporté sous forme gazeuse par l'atmosphère, d'après les expériences faites avec l'acide sulfurique étendu, au même point de la prairie, se serait élevé au maximum à 0^{gr},048 : valeur insignifiante par rapport au poids de l'azote fixé, car elle n'en représente pas la deux cent cinquantième partie.

On remarquera que ces dosages, rapportés à 1 kilogramme de terre, représentent 0^{gr},254 d'azote fixé ; dose beaucoup plus considérable que celle qui a été observée dans l'un des Chapitres précédents (p. 29 et 39, 32 et 40) sur les sols argileux, si pauvres en matière organique. Les microbes fixa-

teurs d'azote sont donc bien plus abondants dans la terre végétale que dans les sables argileux : abondance corrélative avec la richesse beaucoup plus grande de cette terre en carbone organique.

Observons encore que la nitrification a formé 2gr,2 environ de salpêtre dans cette terre, pendant l'expérience, d'après le dosage final. Elle en contenait 2gr,7 au début. Dans tous les cas, son action ne paraît pas liée directement avec la fixation de l'azote, dont elle ne comprend qu'une dose insignifiante.

5° Dans une cinquième expérience, j'ai opéré sur la même terre, débarrassée par un lavage préalable et suffisamment prolongé, des nitrates et des autres matières dont la solubilité est comparable.

Pot n° 5. — Terre épuisée de salpêtre par lavage initial, sans végétation, exposée à la pluie, à l'air libre. Surface 1520 centimètres carrés (sept mois).

Eau initiale, en centièmes.. 10 Eau finale.. 16,7

comme plus haut, et avec les mêmes remarques (p. 93).

Apports pendant l'expérience (pour 50 kilogrammes terre sèche).
Du 24 mai au 20 novembre 1886.

		gr.
Azote initial de la terre		54,60
Azote apporté par la pluie (udomètre)	ammoniacal	0,048
	nitrique	0,013
	organique	0,013
	Total	54,67

Produits à la fin de l'expérience.

	gr.
Azote final de la terre, pour 50 kilogr., sec	78,6
Azote nitrique entraîné dans l'eau qui a traversé la terre	0,198
Azote ammoniacal, non dosé	x
Le total de l'azote final surpasse	78,8

Apports de la pluie. — Le dosage des apports par la pluie résulte des analyses données plus haut (p. 94).

Déperditions par drainage. — Quant aux nitrates entraînés par les lavages dus à la pluie, voici le tableau du dosage de l'azote nitrique dans les eaux de drainage.

	Quantité d'eau.	Azote nitrique.
	c.c.	gr.
27 mai..............	2000	0,00105
31 »	610	0,00080
3 juin....	405	0,00062
7 »	5000	0,02601
8 »	4500	0,01186
10 »	665	6,00032
15 »	510	0
21 »	850	0,00130
27 »	75	0
Total................	14615	0,04196

Pour la suite, dans l'exposition des résultats, on ne donnera plus le détail précédent; mais on se bornera à grouper les résultats par périodes :

	Quantité d'eau.	Azote nitrique.
	c.c.	gr.
Du 28 mai au 1er juillet..........	14615	0,04196
Du 15 juillet au 7 septembre......	2400	0,07923
Du 7 septembre au 24 septembre.	1600	0,05421
Du 24 septembre au 9 octobre....	750	0,02260
Total............	19365	0,19800

On remarquera que le drainage de ce pot a fourni un tiers de plus d'eau environ que celui du précédent; sans doute à cause d'un état de porosité un peu différent de celui de la terre. Du reste, cet état varie dans chaque pot et pour chaque intervalle de temps. Quoi qu'il en soit, le poids de l'azote nitrique entraîné répond à $1^{gr},4$ environ de salpêtre, formé dans la terre du pot, pendant l'expérience.

L'azote entraîné par l'eau du drainage ($0^{gr},198$) est sextuple à peu près de l'azote combiné que la pluie a apporté ($0^{gr},034$- Mais ce n'est pas le lieu d'insister sur ce point.

En ce qui touche la fixation de l'azote sur la terre et en y comprenant l'azote nitrique des drainages, on trouve que les 50 kilogrammes de la terre mise en expérience ont fixé :

$$78^{gr},8 - 54^{gr},67 = 24^{gr},13 \text{ d'azote,}$$

presque moitié autant qu'ils en contenaient d'abord.

L'azote ammoniacal apporté sous forme gazeuse par l'atmosphère, en ce point de la prairie, se serait élevé, d'après la quantité absorbée par l'acide sulfurique étendu, au maximum à $0^{gr},048$: valeur insignifiante et qui n'est guère que la sept centième partie de la précédente.

D'après ces faits, la terre végétale fixe continuellement l'azote atmosphérique libre ; même en dehors de toute végétation supérieure, ou proprement dite. Ce gain ne saurait être attribué aux apports atmosphériques des composés azotés, gazeux ou dissous dans l'eau de pluie. Dans les expériences où les eaux pluviales s'écoulaient au dehors, après avoir traversé la terre, la pluie a même enlevé au sol, sous la seule forme de nitrates, plus d'azote qu'elle n'en a apporté, sous les formes d'ammoniaque, d'acide nitrique et d'azote organique réunis. Malgré cette circonstance, la fixation de l'azote a été plus considérable dans une terre lavée par la pluie, que dans une terre abritée : sans doute en raison de l'activité plus grande imprimée aux organismes fixateurs d'azote, par la circulation de l'air et de l'eau. L'origine de l'azote fixé pendant le cours de la végétation paraît donc définitivement éclaircie.

CHAPITRE IV

FIXATION DIRECTE DE L'AZOTE GAZEUX DE L'ATMOSPHÈRE PAR LES TERRES VÉGÉTALES AVEC LE CONCOURS DE LA VÉGÉTATION

J'ai exposé, dans les Chapitres précédents, mes expériences, faites à la station de Chimie végétale de Meudon, sur la fixation directe de l'azote gazeux atmosphérique par certains sols argileux et par certaines terres végétales, envisagée indépendamment de l'action de la végétation des plantes proprement dites. J'ai décrit les conditions et les résultats de ces expériences, dont les dernières ont été exécutées dans de grands pots, contenant chacun 50 kilogrammes de terre environ; c'est-à-dire une quantité susceptible de fournir à une plante un milieu assez étendu pour se prêter à une végétation accomplie jusqu'au bout, dans des conditions normales. Cependant ce milieu était, d'autre part, assez limité pour permettre l'analyse complète de tous les produits, et pour écarter l'intervention illimitée des substances susceptibles d'être apportées par les lavages et les infiltrations, lorsqu'on opère sur le sol des champs.

Je vais rapporter maintenant les expériences parallèles et simultanées, faites avec le concours de la végétation, à l'air libre, et dans les conditions mêmes du développement naturel des plantes.

I. Pot n° 6. — *Terre n'ayant subi aucun traitement, exposée à l'air libre et à la pluie, au milieu d'une prairie.*

On y a fait développer des pieds d'*Amarantus pyramidalis*. J'ai choisi cette plante, parce que j'en ai étudié la végétation d'une manière méthodique, avec la collaboration de M. André (*voir* le tome II).

Surface du pot : 1661 centimètres carrés. Les plantes se sont développées régulièrement : on en donnera tout à l'heure les poids successifs, pour chaque pot soumis à l'analyse. L'expérience a duré du 24 mai au 9 octobre 1886.

Au point de vue que nous étudions, quatre éléments interviennent ici :

L'azote de la terre ;

L'azote de la plante ;

L'azote de la pluie ;

L'azote de l'ammoniaque atmosphérique.

Établissons les résultats fournis par le dosage de chacun de ces quatre éléments ; puis nous ferons la balance

1° *Azote de la terre.*

La terre contenait (24 mai 1886) :

Eau au début.. 10 centièmes Eau finale (9 octobre).. 15,4

	gr.
Azote initial, sur 50 kilogrammes de terre sèche.	53,7
Azote nitrique	0,389
	54,09

Elle renfermait à la fin :

	gr.
Azote final	56,50
Azote nitrique	0,037
	56,54

L'abaissement du taux des nitrates est dû : en partie à la végétation ; en partie, aux fortes pluies de la saison, qui les ont entraînés dans les eaux de lavage. On remarquera que la terre s'est enrichie en azote, malgré ces lavages et malgré les prélèvements faits par la végétation.

2° *Azote des plantes.*

On a repiqué dans le pot, le 24 mai, vingt pieds d'Amarante pyramidale, semés sous châssis :

Un pied pesait en moyenne, à l'état humide, 3gr,94 ; sec, 0gr,552.

L'azote contenu dans ces vingt pieds s'élevait, d'après dosages faits sur une moyenne d'un certain nombre de pieds :

Azote initial des plantes.

	gr.
Azote organique	0,287
Azote nitrique	0,062
Total	0,349 (1)

Le 24 juin, on a prélevé onze pieds d'Amarante, pesant 69gr,85 à l'état humide, 12gr,489 à l'état sec, soit 1gr,135 par pied moyen sec.

L'azote contenu dans ces 11 pieds s'élevait :

	gr.
Azote organique	0,2997
Azote nitrique	0,0035
Total	0,3032

Le 15 juillet, on a prélevé sept pieds, pesant à l'état humide, 128gr,20, à l'état sec, 42gr,934 ; soit 6gr,133 par pied moyen sec.

L'azote contenu dans ces sept pieds s'élevait :

	gr.
Azote organique	1,0304
Azote nitrique	0,0015
Total	1,032

Le 7 septembre, on a pris l'un des deux pieds restants ; il pesait à l'état humide, 82gr,55 ; à l'état sec, 21gr,07.

(1) Ce chiffre est un maximum : la chaux sodée réduisant une partie de l'azote nitrique, surtout dans une plante aussi riche en nitrates.

Il contenait :

	gr.
Azote organique	0,4635
Azote nitrique	0,0012
Total	0,465

Le 9 octobre, on a pris le dernier pied, qui pesait 123 gr. à l'état humide, et à l'état sec, 33gr,43.

Il contenait :

	gr.
Azote organique	0,4346
Azote nitrique	0,0003
Total	0,435

Les chiffres ci-dessus montrent que le développement de la plante a eu lieu régulièrement. La masse de terre étant suffisante, la plante a grandi jusqu'à près d'un mètre de hauteur. Elle a fleuri et fructifié, et son poids (sec) s'est évalué graduellement de 0gr,552 à 33gr,43. Quant aux nitrates, tant dans le sol que dans la plante, ils ont été éliminés à mesure, par l'effet des pluies incessantes et considérables, survenues pendant la saison de 1886; lesquelles ont dépouillé de ce sel la terre environnante (p. 95), et par contrecoup la plante. Il a été entraîné au dehors dans les eaux de drainage, d'après la disposition même de mes appareils.

Je signale cette élimination pour ne rien omettre ; mais elle n'a pas d'importance quant au résultat final, car elle donne lieu à une perte, et non à un gain d'azote. On en tiendra compte d'ailleurs dans les calculs.

Il résulte des données précédentes :

Azote initial des Amarantes 0gr,349

L'azote final qui demeurait fixé dans ces plantes, c'est-à-dire dans les pieds arrachés et analysés au cours de la végétation, s'est élevé :

	gr.
Sur 11 pieds enlevés le 24 juin, à..............	0,303
Sur 7 pieds enlevés le 15 juillet.................	1,032
Sur 1 pied enlevé le 7 septembre..............	0,465
Sur 1 pied enlevé le 9 octobre..................	0,435
Total....................	2,335

Si l'on retranche de ce total les $0^{gr},349$ d'azote initial, on voit que les plantes ont gagné en tout :

$1^{gr},886$ d'azote.

3° ***Azote ammoniacal apporté sous forme gazeuse par l'atmosphère, indépendamment des pluies.***

Cet azote a été déterminé sur le même point de la prairie, par une expérience comparative et simultanée, faite au moyen de l'acide sulfurique étendu, occupant une surface donnée ; ce qui donne assurément un chiffre supérieur à l'absorption opérée par la terre (*voir* p. 50). Rapporté à la surface de la terre du pot, le nombre obtenu s'élèverait (au maximum) à $0^{gr},053$.

Il est difficile d'évaluer exactement l'influence de la surface des plantes qui ont poussé dans ce pot ; observons qu'elles étaient loin d'en recouvrir toute l'étendue. Dans ces conditions, la surface de quelques pieds d'Amarante ne saurait guère être qu'une fraction de celle des 1661 centimètres carrés de la terre du pot. De quelque façon qu'on l'évalue, elle n'a pu absorber qu'une dose d'azote ammoniacal comparable à celle que l'acide sulfurique étendu a absorbée (soit $0^{gr},053$) ; c'est-à-dire une dose insignifiante par rapport à l'azote total fixé sur le sol et la plante (soit $4^{gr},63$; près de cent fois autant). On voit par ces nombres et ces indications combien est minime l'influence de l'ammoniaque gazeuse contenue dans l'atmosphère, sur les variations de l'azote dans le sol.

4° *Azote des eaux pluviales.*

Apports. — L'azote apporté par la pluie pendant la durée de la végétation (du 24 mai au 20 novembre), d'après les dosages faits sur l'eau récoltée dans un udomètre, placé à côté et de surface connue (*voir* plus haut, p. 94), s'est élevé dans le pot n° 6 aux chiffres suivants :

	gr.
Azote ammoniacal	0,0523
Azote nitrique	0,012
Azote organique, environ	0,012
	0,0763

Déperditions par drainage. — D'autre part, on a récolté, tous les jours de pluie, l'eau qui avait traversé la terre et qui s'était échappée par le drainage, et l'on y a dosé chaque fois l'azote nitrique : ce qui a donné, en tout : 0gr,4027.

Voici le détail de ces derniers dosages. Soit, pour la période du 28 mai au 1er juillet :

	Quantité d'eau de drainage recueillie à la suite des pluies.	Azote nitrique.
	c. c.	gr.
3 juin	525	0
7 »	5 000	0,33695
8 »	3 750	0,06272
10 »	520	0,00192
15 »	525	0
21 »	530	0,00019
27 »	75	0
Total	10 925	0,40178

On se bornera à donner la somme des résultats analogues pour chaque période.

	Quantité d'eau.	Azote nitrique.
	c.c.	gr.
Du 28 mai au 1er juillet	10 925	0,40178
Du 15 juillet au 7 septembre	2 305	0,00049
Du 7 au 24 septembre	960	0,00039
Du 24 septembre au 9 octobre	335	Traces.
Total	14 570	0,40266

Le lavage initial, opéré par la pluie du 3 au 8 juin, a enlevé à peu près tous les nitrates préexistant à cette époque, lesquels renfermaient en azote : $0^{gr},340$.

Du 8 juin au 9 octobre, on a recueilli dans les drainages une dose de nitrates qui contenait seulement $0^{gr},063$ d'azote; dont $0^{gr},012$ pouvant venir de la pluie, d'après les analyses simultanées de celle-ci. L'azote ammoniacal de la pluie, ajouté aux chiffres de l'azote nitrique et de l'azote organique de cette même pluie, donnerait $0^{gr},076$; c'est-à-dire cinq à six fois fois moins que la terre n'a perdu d'azote combiné par le fait des drainages, soit : $0^{gr},4027$.

Les eaux de drainage provenant de la pluie ont donc enlevé à cette terre quatre à cinq fois autant d'azote que la pluie elle-même en a apporté.

Il y a plus : l'azote ammoniacal entraîné par ce drainage n'a pas été dosé, non plus que l'azote organique; mais des essais comparatifs ont montré que la dose (x) en était faible. En tout cas, cette perte agit en sens inverse des résultats que nous allons constater.

Les longues et patientes déterminations que je viens de résumer fournissent toutes les données nécessaires pour établir l'équation de l'azote, dans le cours de la végétation de la plante du pot n° 6, sur laquelle l'expérience a été instituée. On a en effet le bilan suivant :

Apports.

	gr.
Azote initial de la terre (pour 50 kilogr. secs)...	54,09
Azote apporté par la pluie.....................	0,076
Azote apporté par l'ammoniaque atmosphérique gazeuse, au plus..........................	0,053
Azote apporté par les pieds d'Amarante........	0,35
Somme...............	54,57

Produits.

	gr.
Azote final de la terre	56,54
Azote entraîné par les eaux qui ont traversé la terre (minimum)........................	0,403
Azote final des plantes........................	2,235
Somme................	59,18

Il y a eu, en définitive, fixation de 4gr,61 d'azote.

Le gain final sur les matières restées dans le pot est réparti à peu près également, entre la terre, qui a gagné 2gr,45 ; et les plantes, qui ont gagné 1gr,885.

Mais il est facile de concevoir que si l'on avait laissé plusieurs pieds d'Amarante dans le pot, ils auraient pu garder dans leurs tissus la totalité de l'azote fixé, et même en emprunter un excès à la terre, laquelle se serait alors trouvée appauvrie ; le gain en azote portant tout entier sur la plante.

Voici deux autres expériences, qui conduisent à la même conclusion générale : je les exposerai plus sommairement.

II. Pot n° 2. — *Terre lavée jusqu'à épuisement des nitrates initials, exposée à l'air libre et à la pluie.*

Surface : 1 589 centimètres carrés. — Du 24 mai au 9 octobre 1885. — On y a fait développer des pieds d'Amarante pyramidale, qui ont crû régulièrement.

Eau de la terre, en centièmes : au début, 10. — Eau finale, 15,5.

Voici les quatre données essentielles relatives à l'azote :

1° *Azote de la terre.*

Elle contenait au début :

Azote initial (24 mai), pour 50 kilogr. de terre supposée sèche................	54gr,60

Elle renfermait à la fin :

	gr.
Azote final (20 novembre)..............	60,50
Azote nitrique..........................	0,033
	60,53

Pendant l'expérience la terre a été lavée par des pluies abondantes, qui ont entraîné la majeure partie du salpêtre formé par la nitrification.

Cependant les chiffres précédents montrent que la terre s'est enrichie en azote, malgré ces lavages et malgré le transport d'une portion de l'azote sur la plante pendant la végétation. En effet, il y a eu un gain en azote de 5gr,93.

2° *Azote des plantes.*

On a repiqué le 24 mai, dans le pot, les vingt pieds d'Amarante pyramidal, développés sous châssis. Un pied humide pesait en moyenne 3gr,94 ; sec 0gr,552. On y a dosé l'azote total et l'azote nitrique ; ce qui a fourni, pour les vingt pieds :

	gr.
Azote organique	0,287
Azote nitrique	0,062
	0,349

La végétation a été dirigée comme pour le pot n° 6; les prélèvements étant faits aux mêmes époques et exactement de la même manière.

24 juin. On enlève onze pieds, pesant en moyenne : chaque pied humide, 4gr,60 ; sec, 0gr,8224. Ils renfermaient en tout :

	gr.
Azote organique	0,217
Azote nitrique	0,0011
Total	0,2181

15 juillet. On enlève sept pieds, pesant en moyenne: chaque pied humide, 12gr,95 ; sec, 4gr,339. Ils renfermaient en tout :

	gr.
Azote organique	0,729
Azote nitrique	0,0006
Total	0,7296

7 septembre. On enlève un pied, pesant, humide, 66gr,5; sec, 16gr,98. Il renfermait :

	gr.
Azote organique........................	0,3736
Azote nitrique..........................	0,0014
Total..............	0,3750

9 octobre. On enlève un pied, pesant, humide, 156 gr.; sec, 42gr,40. Il renfermait :

	gr.
Azote organique........................	0,5522
Azote nitrique..........................	0,0005
Total..............	0,5507

Le résultat final a été le suivant :

	gr.
Azote organique, demeuré combiné dans la plante...............	1,870
Azote nitrique, dans la même plante...	0,0035
Total..............	1,8735

Il y a donc eu gain, soit :

$$1^{gr},873 - 0,349 = 1^{gr},524$$

d'azote fixé sur la plante, et cela en même temps qu'une fixation semblable, mais à peu près quadruple, avait lieu sur le sol.

3° *Azote ammoniacal*, apporté sous forme gazeuse sur la surface du pot pendant l'expérience ; d'après les dosages faits au moyen de l'acide sulfurique étendu sur une surface égale, au maximum : 0gr,050.

4° *Azote des eaux pluviales*. D'après l'udomètre :

Apports : Azote ammoniacal, nitrique, organique... 0gr,075

Déperditions par drainage ; D'autre part, on a trouvé :

Azote nitrique entraîné par les eaux de drainage qui ont traversé le sol..... 0gr,171

Voici les analyses relatives à ces eaux de drainage :

Première période (détail).

	Quantité d'eau de drainage recueillie à la suite des pluies.	Azote nitrique.
	c.c.	gr.
3 juin	850	0,01111
7 »	5000	0,11482
8 »	3850	0,04135
10 »	500	0,00254
15 »	450	0,00000
21 »	725	0,00027
27 »	60	0,00000
Total	11435	0,17009

Résumé des diverses périodes.

	Quantité d'eau.	Azote nitrique.
	c.c.	gr.
Du 28 mai au 1er juillet	11435	0,17009
Du 15 juillet au 7 septembre	2400	0,00032
Du 7 au 24 septembre	955	0,00013
Du 24 septembre au 9 octobre	345	0,00037
Total	15135	0,17091

Cet azote, entraîné sous forme de nitrates, répond à la nitrification du sol. Il est triple de l'azote total apporté par la pluie.

Établissons maintenant le bilan définitif de cette expérience, en rapportant les nombres par le calcul à 59 kilogrammes de terre (au lieu de 52^{kg},2 mis en expérience).

Apports.

	gr.
Azote initial de la terre	54,600
Azote apporté par la pluie	0,072
Azote apporté par l'ammoniaque atmosphérique gazeuse, au plus	0,050
Azote apporté par les plantes	0,349
	55,071

Produits

	gr.
Azote final de la terre........................	60,530
Azote entraîné par les eaux....................	0,164
Azote final des plantes........................	1,874
	62,568

Gain définitif.......... 62gr,57 — 55,07 = 7gr,50 d'azote.

Ce gain a eu lieu surtout par la terre (5gr,93) ; la plante ayant cependant fixé pour son propre compte, 1gr,52.

Pot n° 4. — Conditions toutes semblables à celles du n° 2 : c'est-à-dire terre débarrassée de nitrates par un lavage initial, mais recevant les eaux pluviales. On y a fait développer des pieds d'Amarante pyramidal. Surface : 1451 centimètres carrés. Même durée de l'expérience (du 24 mai au 9 octobre 1885).

Eau initiale de la terre, en centièmes, 10. — Eau finale, 15,2.

1° *Azote de la terre.*

Elle contenait au début :

Azote initial (24 mai), pour 50 kilogr. de terre supposée sèche.............	54gr,60

Elle renfermait à la fin :

	gr.
Azote final (20 novembre)...............	60,00
Azote nitrique.........	0,03
	60,03

Les pluies ont joué le même rôle que ci-dessus.

La terre a gagné en définitive 5gr,43 d'azote, malgré la déperdition continue des nitrates par drainage et malgré l'azote emprunté par les plantes.

2° *Azote des plantes.*

On a repiqué vingt pieds d'Amarante pyramidal, déve-

loppés sous châssis, un pied humide pesant en moyenne, 3gr,94 ; sec, 0gr,552. On a procédé comme ci-dessus.

L'azote initial de ces vingt pieds (p. 103) s'élevait à 0gr,349.

Le 24 juin, onze pieds ont été prélevés. Un pied moyen pesait humide, 0gr,250 ; sec, 1gr,1175. Ils ont fourni en tout :

	gr.	
Azote organique......................	0,295	
Azote nitrique........................	0,0015	
Total.............		0gr,2965

Le 15 juillet, sept pieds prélevés, pesant en moyenne, un pied humide, 16gr,528 ; un pied sec, 1gr,535. Ils ont fourni,

	gr.	
Azote organique......................	0,9299	
Azote nitrique........................	0,0051	
Total.............		0gr,9340

Le 7 septembre, un pied enlevé, pesant à l'état humide, 90gr,5; sec, 23gr,11. Il a fourni :

	gr.	
Azote organique......................	0,5084	
Azote nitrique........................	0,0016	
Total.............		0gr,5100

Le 9 octobre, le dernier pied pesait, à l'état humide, 85gr; sec, 25gr,82. Il a fourni :

	gr.	
Azote organique......................	0,3357	
Azote nitrique........................	0,0002	
Total.............		0gr,3352
Somme de l'azote des plantes..............		2gr,0764

L'azote initial des plantes étant 0gr,349, il y a eu gain final de 1gr,727 ; c'est-à-dire le tiers de l'azote gagné par la terre.

3° ***Azote ammoniacal apporté sous forme gazeuse***, sur la surface du pot actuel, au maximum (p. 105) : 0gr,046.

4° ***Azote ammoniacal, nitrique, organique, des eaux pluviales*** (udomètre) : 0gr,068.

Déperditions par drainage. — Voici ce que les eaux qui ont traversé la terre de ce pot ont entraîné :

Première période (détail).

	Quantité d'eau recueillie à la suite des pluies.	Azote nitrique.
	c.c.	gr.
3 juin	2 000	0,04527
7 »	4 500	0,09277
8 »	3 650	0,02266
10 »	450	0,00155
15 »	650	0,00044
21 »	1000	0,00016
27 »	105	0
Total	12 660	0,16285

Par périodes.

		Azote nitrique.
	c.c.	gr.
Du 28 mai au 1er juillet	12 660	0,16285
Du 15 juillet au 7 septembre	2 550	0,00016
Du 7 septembre au 24 septembre	1 325	0,00039
Du 24 septembre au 9 octobre	540	0,00024
Total	17 075	0,16364

Établissons maintenant le bilan définitif de l'azote dans ce pot :

Apports.

	gr.
Azote initial de la terre	54,600
Azote apporté par la pluie	0,068
Azote de l'ammoniaque atmosphérique gazeuse (au plus)	0,046
Azote apporté par les plantes	0,349
	55,063

Produits.

	gr.
Azote final de la terre	60,00
Azote entraîné par l'eau	0,163
Azote fixé sur les plantes	2,076
	62,239

Le gain définitif est de 7gr,18 en azote.

En résumé, dans ces expériences, il y a eu fixation d'azote en proportion considérable :

Sur les sables et sols argileux, aussi bien que sur la terre végétale proprement dite, lorsque j'ai opéré en l'absence de la végétation ;

Sur la terre et la plante réunies, lorsque j'ai opéré en présence de la végétation.

Quant au dernier point, M. Joulie est arrivé à la même conclusion, dans les expériences qu'il a publiées depuis, à l'occasion de celles que je venais de présenter à l'Académie ; mais il n'avait pas fait d'essais comparatifs sur la terre elle-même, source essentielle de la fixation de l'azote.

Dans les expériences actuelles, la fixation de l'azote par la terre, *avec le concours de la végétation*, s'est élevée à

4gr,61 7gr,18 et 7gr,50 ;

au lieu de

13gr,38 et 24gr,13 ;

poids observés *avec la terre seule*, dans les deux couples d'essais que j'ai exécutés d'une façon comparative et simultanée.

Il semble donc que la végétation ait consommé une portion de l'azote fixé par la terre ; la vie des plantes supérieures, de même que celle des animaux, donnant lieu à une déperdition incessante de l'azote combiné. Cette conclusion s'applique

[illegible] sur laquelle j'ai opéré, et je ne pense pas à généraliser autrement, car elle exigerait des expériences plus multipliées.

SÉRIE COMPLÉMENTAIRE

Je dois dire cependant que, dès 1883 et 1884, j'étais parvenu aux mêmes résultats généraux, lors de mes premières séries d'essais sur la végétation du blé, de la vesce, du cresson alénois, de la roquette, de la lentille et du seneçon, dans les mêmes sables argileux jaune et blanc, sur lesquels j'ai observé, d'autre part, la fixation directe de l'azote atmosphérique. Je vais résumer ici ces séries de déterminations. Elles sont moins importantes que les précédentes, parce que je n'avais pas réalisé du premier coup les conditions les plus favorables à l'étude du problème ; néanmoins il est utile de les donner, attendu qu'elles concordent avec les expériences plus développées qui ont suivi.

Cette première suite d'expériences a été exécutée dans des pots de porcelaine, d'une capacité d'un litre environ, portés sur trois pieds et percés d'un trou au fond, pour le drainage des eaux. Un plat disposé au-dessous récoltait celles-ci, ainsi que le sable entrainé. Parfois l'eau débordait, et une partie était perdue. Le surplus de l'eau du plat s'y évaporait et le sable entrainé y restait.

On a placé dans chaque pot 1 kil. du sable argileux jaune presque stérile, employé dans les essais du premier Chapitre ; on a ensemencé avec diverses plantes, et l'on a mesuré les apports, tant en eau d'arrosage qu'en eau de pluie (celle-ci d'après l'udomètre). Les eaux qui traversaient le sable en temps de pluie, et qui s'écoulaient au-dessous, étaient nécessairement perdues. En outre, une certaine

quantité de sable a été également perdue, soit que les eaux l'aient entraînée, soit qu'elle ait été emportée par le vent; ces diverses causes de perte n'en rendent que plus décisifs les gains observés.

Au point de vue de la végétation même, ces essais avaient été exécutés dans des conditions peu favorables, les plantes étant mal venues dans des sols aussi stériles et ayant dépéri : ce qui a dû donner lieu à des pertes d'azote, dans une proportion inconnue. Cependant il me paraît utile de signaler ces essais, pour plus de sincérité, et afin de montrer combien est général le phénomène de la fixation de l'azote par le sol, même dans des conditions où la végétation ne saurait guère y concourir.

Certains d'entre eux se rapprochent beaucoup des anciens essais faits par M. Boussingault, avec quelques différences essentielles : celle-ci notamment, que le sable argileux de mes expériences n'avait pas été calciné, comme dans les anciens essais; opération qui a pour résultat, imprévu à cette époque, de priver le sol de la présence des microbes vivants, fixateurs de l'azote.

I. *Blé*. — Trois expériences ont été faites avec le sable jaune, trois avec le kaolin. Dans les trois expériences avec le sable jaune, il y a eu gain d'azote sur l'ensemble; mais ce gain n'a porté que sur le sol et non sur la plante. Dans les trois expériences faites avec le kaolin, il y a eu une fois gain sur la plante ; une fois résultat stationnaire sur le sol comme sur la plante ; et une fois perte légère sur la récolte, le sol n'ayant pas changé. Voici les données sommaires de trois de ces expériences, pour en montrer la marche.

1. *Blé*. — Au sommet de la tour, du 7 juin au 8 juillet 1884. Surface du pot, 100 centimètres carrés.

Apports.

		gr.
Sable, 1117 grammes (sec), renfermant.....	Azote organique..	0,080
	Azote nitrique....	0,0004
Eau distillée d'arrosage, 1lit,500............	Azote ammoniacal	0,0003
Eau de pluie, 216 centimètres cubes........	Azote ammoniacal	0,00012
34 grains de blé, pesant humides. 1gr,625 / secs..... 1gr,445	Azote organique..	0,0282
	Poids total............	0,1090

Le blé s'est mal développé et est resté chétif. On l'a enlevé et analysé en deux fois.

Produits.

Pieds de blé.		Renfermant azote organique.
	gr.	gr.
Première prise, 28 juin. 16 pieds pesant, humides 3gr,858, secs..................................	0,919	0,0144
Deuxième prise, 8 juillet. 15 pieds pesant, humides 2gr,153, secs..................................	1,012	0,0126
Radicelles et débris organiques visibles, secs..........	0,918	0,0015
Poids total sec........	2,849	0,0285

Ainsi le poids de la matière sèche de la plante avait seulement doublé. Son azote était resté sensiblement le même. D'autre part, le terrain a donné :

Terrain.		Azote organique.
		gr.
Sable du pot. Couche supérieure (sec).....	322 gr.	0,02682
» Couche inférieure...........	682	0,0516
Sable du plat.............................	101	0,0079
Poids total...........	1105 gr.	0,0863

Il y a eu 12 grammes de sable perdu. Malgré cette perte et les lavages produits par la pluie, lavages dont les matières azotées ont été en grande partie perdues, il y a eu gain de 0gr,006 d'azote sur le sable qui avait servi de terrain à cette végétation imparfaite.

En définitive, l'azote final surpasse l'azote des apports; car

le total final est $0^{gr},01148$, au lieu de $0^{gr},1090$, somme des apports.

L'azote ammoniacal apporté par l'atmosphère pendant la durée de cet essai n'a pas été mesuré directement ; mais, d'après les essais comparatifs des autres séries, il n'a pu dépasser $0^{gr},0005$ pour la surface donnée et la durée de l'expérience : c'est-à-dire qu'il est fort éloigné d'expliquer le gain observé.

2. *Blé.* — Expérience similaire, au bas de la tour. Surface du pot, 98 centimètres carrés.

Apports.

	gr.
Sable (1000 gr.). Azote organique	0,0705
» Azote nitrique	0,0003
Eau distillée des arrosages ($1^{lit},5$). Azote ammoniacal	0,0003
Eau de pluie. Azote ammoniacal	0,00012
Grains de blé (37), pesant, à l'état sec, $1^{gr},476$. Azote organique	0,0307
Poids total	0,1019

Produits.

Pieds de blé.	gr.	gr.	Azote organique. gr.
28 juin. 18 pieds, humides	2,738		0,015
» » secs		0,989	
8 juillet. 19 pieds, humides	3,3385		0,016
» » secs		1,3402	
Radicelles, débris organiques visibles, à l'état sec		0,352	0,002
Poids total (sec)		2,681	0,033

Le blé était chétif; son poids n'avait pas tout à fait doublé, et il n'avait pas gagné d'azote sensiblement (gain observé : $0^{gr},0013$).

Terrain.			gr.
Sable. Couche supérieure	154 gr.	Azote organique	0,0135
» Couche inférieure	774	»	0,0565
Sable du plan	61	»	0,0945
Poids total	989		0,0745

Il y a gain sur le sable, soit $0^{gr},003$.

Les apports renferment en tout $0^{gr},1043$; les produits, $0^{gr},1075$.

Sur l'ensemble, le gain total serait $0^{gr},0032$; et il faudrait y ajouter les pertes dues à la pluie.

3. ***Blé***. — Kaolin, 544 grammes (sec). Surface du pot, 84 centimètres carrés.

Apports.

	gr.		gr.
Kaolin. Azote organique	0,0118	En tout..	0,0141
» Azote nitrique	0,0023		
21 grains de blé, pesant, humides.	$1^{gr},0342$	Azote organique...	0,0174
» » secs	$0^{gr},0919$		
Eau d'arrosage	1lit,5	Azote ammoniacal.	0,0003
Eau de pluie	84cq	Azote ammoniacal.	0,00010
		Poids total	0,0319

Produits.

Pieds de blé.			Azote organique.
	gr.	gr.	gr.
12 juin. 12 pieds pesant, humides	2,473		0,0071
» » » secs		0,608	
28 juillet. 11 pieds pesant, humides	3,3565		0,0153
» » » secs		1,3522	
Radicelles, etc., sec		1,534	0,0011
Poids total sec		3,494	0,0235

Le poids de la récolte (sèche) est $3^{gr},494$; soit presque quadruple de la semence. La plante a gagné $0^{gr},0061$ d'azote.

	Sec.	Azote organique.
		gr.
Sable. Couche supérieure	231 gr.	0,0057
» Couche inférieure	274	0,0042
» du plat	35	0,0009
Poids total	540 gr.	0,0108

Ici le sol s'est appauvri de $0^{gr},0033$ d'azote, cédés à la plante. Mais, en définitive, il y a gain sur la somme des produits, qui est de $0^{gr},0343$. Ce gain s'élève à $0^{gr},0024$ d'azote.

Un tel gain est d'autant plus sensible qu'une partie de l'eau de pluie a été perdue, en même temps que 4 grammes de kaolin. Le mode de répartition de l'azote entre la plante et le sol, observé dans cette expérience, ainsi que la végétation mieux réussie de la plante, sont dus évidemment à la nature spéciale du sol.

II. *Vesce.* — Sur deux expériences, l'une a donné un résultat compensé, la plante ayant gagné de l'azote et le sol en ayant perdu. Dans l'autre, la plante s'est mal développée et a fini par périr ; cependant le sol s'est enrichi et il y a eu gain sur l'ensemble. Voici les chiffres :

Vesce. — Sable jaune, du 17 juin au 23 juillet :

		gr.
Sable sec, 914 grammes.......	Azote organique.....	0,0655
	Azote nitrique.......	0,0003
Eau distillée d'arrosage, 2 litres.	Azote ammoniacal...	0,0004
Eau de pluie..................	Azote ammoniacal...	0,0003
Graines (28), pesant 1gr,1178 ..	Azote organique.....	0,0504
	Poids total........	0,1169

	gr.		gr.	
Première prise. 3 juillet. 10 pieds.	0,5605	Azote organique.	0,0196	gr. 0,0317
Deuxième prise. 23 juill. 13 pieds (qui s'étaient séchés sur place).	0,5514	Azote organique.	0,0080	
Débris organiques	0,7036	Azote organique.	0,0041	
Sable : sec	857 grammes.	Azote organique.	0,0880	0,0923
		Azote nitrique...	0,0011	
» dans le plat....	45 —	Azote organique.	0,0042	
	902 grammes.	Somme...		0,1240
Perte.......	12 —			

Il y a perte sur l'azote de la plante, qui, je le répète, s'est mal développée et a fini par périr. Cependant il y a un gain sur l'ensemble : soit 0gr,0067.

III. *Cresson alénois.* — Deux essais avec le sable jaune : il y a gain d'azote avec le sol.

Deux essais avec le kaolin. Dans l'un, la plante a gagné de l'azote, le sol n'ayant pas gagné ; dans l'autre, il y a eu une

perte légère sur le tout. Voici les données de trois de ces expériences.

1. *Cresson alénois.* — Sable jaune. Surface du pot, 84 centimètres carrés. Du 8 juin au 15 juillet 1884 :

Apports.

			gr.
Sable (sec)	664 gr.	Azote organique...	0,0475
		Azote nitrique	0,0002
Eau distillée d'arrosage	2 lit.	Azote ammoniacal.	0,0004
Eau de pluie	188 c.c.	Azote ammoniacal.	0,00015
Graines de cresson (73) : humides..	0,2053	Azote organique...	0,0073
» » sèches....	0,185		
			0,0555

La végétation est mal venue.

			Azote organique.
	gr.		gr.
15 juillet. Récolté 4 pieds, humides......	0,0685		0,0009
» » secs..........	0,0362		
Débris et racines : secs	0,167		0,00090
Sable. Couche supérieure, sec..	234	grammes.	0,0262
» Couche inférieure, sec...	393	—	0,0318
» Dans le plat	31	—	0,0024
Poids total	658	grammes.	0,0622
Perte	6	—	

Le gain total en azote s'élève à 0gr,0073.

Ce gain a porté sur le sable ; quatre pieds seulement s'étant développés et les débris des semences se trouvant d'ailleurs disséminés dans ce sable, de façon à ne pas permettre une sépartaion rigoureuse.

2. Autre essai avec le cresson et le même sable. Surface du pot, 100 centimètres carrés. Du 8 juin au 15 juillet 1884.

Apports.

			gr.
Sable	1077 gr.	Azote organique...	0,0771
		Azote nitrique.....	0,0003
Eau distillée d'arrosage.	2 lit.	Azote ammoniacal.	0,0004
Eau de pluie	226 c.c.	»	0,0002
Graines (109) : sèches..	0gr,277	»	0,0110
		Total	0,0890

Végétation mal venue ; cependant elle est mieux réussie que la précédente.

		Azote organique.
15 juill. 16 pieds en bon état, se disposant à fleurir;	gr.	gr.
12 pieds desséchés, le tout pesant, humide.......	0,381	0,0032
» » » sec...........	0,201	
Débris divers, secs..............................	0,0478	0,0005
Sable. Couche supérieure........................	343 gr.	0,0391
» Couche inférieure.........................	659 gr.	0,0515
» Dans le plat..............................	70 gr.	0,0056
Total......................		0,0999

Gain total, $0^{gr},010$. Le gain porte sur le sable; mais ce dernier renfermait les débris d'une partie de la végétation et des semences.

3. *Cresson alénois.* — Kaolin. Du 8 juin au 16 juillet. Surface du pot, 84 centimètres carrés.

Apports.

			gr.
Sable......................	522 gr.	Azote organique...	0,0114
		Azote nitrique.....	0,0028
Eau distillée des arrosages.	2 lit.	Azote ammoniacal.	0,0004
Eau de pluie..............	188 c.c.	Azote ammoniacal.	0,00015
Graines (88) : humides.....	$0^{gr},2437$	Azote organique...	0,0088
» sèches.......	$0^{gr},2193$		
		Poids total.........	0,0235

Produits.

			Azote organique
		gr.	gr.
67 pieds qui ont presque tous fleuri, humides....		2,034	0,0105
» » » secs.........		0,802	
Débris mêlés de sable, secs......................		3,222	0,0015
Sable. Couche supérieure, sec.....	205 grammes.		0,0073
» Couche inférieure..........	308 —		0,0067
Poids total..........	513 grammes.		0,0260
Perte................	9 —		

La végétation dans ce sol a été suffisante, car la matière organique s'est élevée de $0^{gr},219$ à un poids supérieur à

$0^{gr},802$. Les trois quarts des graines se sont développées et la plante a fleuri.

L'azote de la plante a crû de $0^{gr},0088$ à $0^{gr},012$; soit de $0^{gr},0032$, ou un tiers de sa valeur initiale. Ce gain est un peu inférieur au gain total : $0^{gr},019$; c'est-à-dire que le sol n'a pas gagné d'azote ; ou bien il l'a cédé à mesure à la plante. La même remarque a déjà été faite plus haut (p. 120) sur le blé avec ce sol, qui paraît plus favorable à la végétation que le sable jaune.

IV. ***Roquette.*** — Les deux essais avec le sable jaune ont éprouvé des accidents qui les font écarter ; cependant, en fait, tous deux ont donné des gains d'azote sur le total.

Deux essais avec le kaolin ont aussi donné des gains. J'en rapporterai un seul qui suffira, l'autre étant tout à fait analogue.

Roquette. — Kaolin. Du 8 juin au 23 juillet 1884. Surface du pot, 98 centimètres carrés :

Apports.

			gr.
Sable	755 gr.	Azote organique....	0,0166
		Azote nitrique......	0,0034
Eau distillée d'arrosage....	2 lit.	Azote ammoniacal..	0,0004
Eau de pluie	100 c.c.	» ..	0,0003
Graines (212), pesant	$0^{gr},295$	Azote organique....	0,0110
		Poids total.....	0,0317

Produits.

	gr.	gr.	Azote organique.
Première prise. 3 juillet. 64 pieds	0,4397	0,0049	0,0143
Deuxième prise. 23 juillet. 120 pieds...	1,022	0,0064	
Débris végétaux et sable	10,227	0,0030	
Sable	733 gr.	0,0212	0,0215
Plat....	10 gr.	0,0003	
Total.............			0,0358

La plante a gagné, malgré le caractère incomplet de sa végétation. Le gain sur l'ensemble est de $0^{gr},0041$.

V. *Lentille.* — Kaolin. La plante s'est très mal développée. Cependant il y a un gain sur le total, gain portant sur le sol.

Dans le sable jaune, au contraire, il y a eu une légère perte d'azote.

VI. *Seneçon.* — Deux expériences. Il y a eu gain sensible sur le total, ce gain ayant porté sur le sol. Voici les données.

1. *Seneçon.* — Du 7 juin au 7 septembre 1884. Surface du pot, 100 centimètres carrés :

Apports.

			gr.
Sable jaune	1023 gr.	Azote organique	0,0734
		Azote nitrique	0,0003
Eau distillée d'arrosage	4lit,5	Azote ammoniacal	0,0008
Eau de pluie		»	0,0006
Graines (1449), pesant sèches	0gr,281	Azote organique	0,0072
		Somme	0,0823

Produits.

		gr.	Azote organique. gr.
9 pieds dont 2 en fleurs, pesant secs		0,2458	0,0017
Sable, sec	945 grammes.		0,0784
			0,0001
» de l'assiette	65 —		0,0052
Poids total	1010 grammes.		0,0854
Perte	13 —		

Gain d'azote sur l'ensemble : 0gr,0031.

2. *Seneçon.* — Même période. Surface du pot, 100 centimètres carrés.

Apports.

			gr.
Sable jaune sec	743 gr.	Azote organique	0,0522
		Azote nitrique	0,0002
Graines (1207), pesant	0gr,2346	Azote organique	0,0060
Eau distillée d'arrosage	4lit,5	Azote ammoniacal	0,0008
Eau de pluie	»	Azote ammoniacal	0,0005
			0,0608

7 septembre :

Produits.

15 pieds, dont 1 en fleurs ; poids humide	0gr,4225	Azote organique.	gr. 0,0014
15 pieds, dont 1 en fleurs ; poids sec	0gr,2595		
Sable	669 gr.	Azote organique.	0,0581
		Azote nitrique...	traces
Sable dans l'assiette	66 gr.	Azote organique.	0,0064
			0,0645

Gain d'azote sur l'ensemble : 0gr,0037.

J'ai cru devoir relater toutes ces expériences, exécutées au début de mes recherches, parce qu'elles mettent en évidence la marche du phénomène. Elles sont de l'ordre de celles qui ont été faites autrefois par Boussingault dans des sols stériles ; avec cette différence fondamentale toutefois que les microbes du sol n'ont pas été détruits par la calcination du sable dans mes essais. Ces expériences montrent que, dans tels sols et en présence d'une végétation languissante, la fixation de l'azote est faible et souvent incertaine, parce que la plante consomme pour son propre compte l'azote fixé par le sol. Souvent même la décomposition de la plante détermine une certaine déperdition d'azote. Ces conditions de végétation imparfaite ne sont pas celles où il convient de se placer pour étudier le phénomène, quoique les expériences ainsi réalisées et que je viens de résumer aient été en somme favorables à l'opinion de la fixation de l'azote. Tels quels, ces essais préliminaires n'ont pas été inutiles ; car ils m'ont conduit à examiner la fixation de l'azote, non par les plantes elles-mêmes, mais par les sols.

C'est en suivant cette nouvelle marche, plus simple que celle des premiers essais, que je suis arrivé aux résultats décisifs de mes premiers Chapitres, ceux que je viens d'exposer. J'ai reconnu ainsi que la fixation de l'azote a lieu réelle-

ment, par les sols argileux presque stériles, aussi bien que par la terre végétale elle-même. Elle a lieu avec celle-ci, même en présence d'une végétation florissante, pourvu que le poids du végétal ne soit pas trop considérable par rapport à celui du sol où il se développe. Du reste, la question de l'intervention des plantes dans cette fixation et cette consommation simultanées d'azote, actions contraires entre lesquelles finit par s'établir dans la nature et en dehors de l'action de l'homme un certain équilibre ; cette question, dis-je, mérite une étude spéciale et plus approfondie. Sans prétendre décider dès à présent si certaines plantes fixent aussi, ou ne fixent pas l'azote libre ; ou bien si, au contraire, elles mettent en liberté l'azote combiné, je me borne aujourd'hui à insister sur ce fait acquis par mes expériences, à savoir que : ***la fixation de l'azote libre de l'atmosphère s'opère par la terre végétale.*** La terre et ses microbes sont les intermédiaires principaux de la fixation de l'azote libre, dans les tissus des êtres supérieurs. On s'explique dès lors comment la culture intensive, mise en œuvre par l'industrie humaine, affaiblit la richesse de la terre, en épuisant les réserves d'azote et autres éléments actifs contenus dans le sol ; elle les épuise plus rapidement qu'elles n'y sont rétablies par les actions naturelles. Dans le cours de la végétation spontanée, au contraire, la production des plantes étant moins active, la richesse du sol en azote tend à s'accroître peu à peu ; du moins, je le répète, jusqu'à une certaine limite, où l'équilibre s'établit spontanément entre les causes de fixation et les causes de mise en liberté de cet élément. C'est à un tel état qu'il faudrait tendre à ramener la végétation agricole, si l'on n'avait la ressource de faire intervenir les engrais et de compenser ainsi les pertes incessantes produites par cette culture intensive, que réclament impérieusement les conditions économiques de nos sociétés modernes.

CHAPITRE V

SUR QUELQUES CONDITIONS GÉNÉRALES DE LA FIXATION DE L'AZOTE PAR LA TERRE VÉGÉTALE

Les chapitres précédents renferment le détail des longues séries d'expériences poursuivies depuis l'année 1884, et qui démontrent que certaines terres argileuses et certains sables ont la propriété de fixer l'azote atmosphérique et de s'enrichir d'une façon lente et progressive en matières organiques azotées, appartenant à des êtres vivants, ou dérivées de ces êtres. Depuis l'exécution de ces séries d'essais, je n'ai cessé de poursuivre l'étude de ce phénomène intéressant et d'en préciser les conditions et les limites. Je vais résumer mes études à cet égard, en y comprenant à la fois celles qui sont publiées dans les Chapitres précités et un certain nombre de recherches inédites. La question est de première importance pour la connaissance de la vie des plantes et de la fertilité du sol.

L'ensemble des résultats observés tend à faire regarder la terre, non comme une matière minérale, inerte, stable et invariable dans sa composition, tant que les végétaux proprement dits ne s'y développent pas; mais comme une matière remplie d'êtres vivants, et dont la composition chimique, et spécialement la richesse en azote, varient et oscillent, suivant les conditions qui président à la vitalité propre de ces êtres. Il y a là un changement radical de point de vue, qui distingue les travaux de notre temps d'avec les travaux d'autrefois.

Au temps des recherches de Liebig et Boussingault, je veux dire il y a trente ans ans et plus, la terre végétale, en effet, était envisagée comme un support purement chimique, passif, inerte, simple association de matériaux privés de vie, parmi lesquels les plantes puisaient les éléments chimiques nécessaires à leur nutrition. On croyait pouvoir lui substituer sans inconvénient, parfois presque sans s'en apercevoir, des mélanges supposés équivalents, diversement manipulés, souvent même chauffés ou calcinés, en vue de simplifier les expériences.

Aujourd'hui, au contraire, d'après les idées que nous cherchons à faire prévaloir, la terre végétale est regardée comme un support actif, comme une chose vivante ; c'est-à-dire que l'on explique ses propriétés par l'existence des micro-organismes dont elle est remplie, et dont l'action propre est liée à celle de la vie végétale et concourt au développement des plantes. Aux conditions d'ordre purement minéral, en quelque sorte, que l'on se bornait à envisager autrefois, il convient d'ajouter maintenant les conditions physiologiques, délicates et complexes, qui président à la vie propre de ces organismes microscopiques.

De là cette nécessité, si fréquente dans les Sciences naturelles, de reprendre les anciennes expériences, qui ont cessé d'être concluantes, et d'en exécuter de nouvelles, mises en conformité avec les faits et les idées modernes.

Je vais donc essayer d'établir un certain nombre des conditions physiologiques — et non les seules peut-être — qui président à la fixation de l'azote. Ces conditions sont d'ailleurs des résultats immédiats d'expériences, indépendants de toute hypothèse sur la cause, quelle qu'elle soit, qui détermine la fixation de l'azote.

1. *État naturel du sol.* — L'aptitude à fixer l'azote appartient à certains sols et sables argileux, pauvres en azote, riches en potasse. On les reconnaît tout d'abord à cette propriété en vertu de laquelle ces sables argileux, extraits de la terre et répandus à sa surface, se couvrent rapidement de végétation, par semis naturels ou artificiels, sans le concours d'aucun engrais, et en même temps que le sol s'enrichit peu à peu en azote. Un sol calcaire ou siliceux quelconque, peu favorable à la végétation, ne remplirait pas ces conditions.

En effet, le mot *terre* est un mot vague et désigne des matières trop diverses pour que l'on puisse conclure de l'une à l'autre, sans autre renseignement. Or je ne sais jusqu'à quel point on pourrait qualifier de ***terres végétales*** ces mélanges hétérogènes, mis quelquefois en œuvre, mélanges renfermant la moitié ou davantage de leur poids de sables grossiers, siliceux et calcaires, matériaux incohérents et non ameublis, peu propres au développement des êtres vivants : j'ai soigneusement écarté de tels mélanges de mes propres études.

J'ai également écarté les mélanges artificiels, fabriqués en associant un sable calciné, ou une matière stérile quelconque, avec un terreau riche en azote, ou avec un engrais organique ou minéral quelconque. Sans contester que de tels mélanges, s'ils sont convenablement composés, ne puissent servir de supports à certaines végétations, et sans examiner s'ils peuvent devenir aptes à fixer l'azote, dans des conditions telles que les êtres vivants spécifiques de cette fixation viendraient à s'y trouver ensemencés, cependant il m'a paru préférable, comme rigueur de méthode, d'opérer seulement sur des sols convenablement préparés par les actions naturelles.

Est-il besoin de rappeler encore qu'il s'agit de végétation spontanée, et non de culture intensive, où l'on enlève à mesure les récoltes ?

2. *Composition chimique du sol.* — Pour préciser au point de vue chimique, les sols et terres homogènes, sur lesquels j'ai observé cette fixation d'azote, contenaient, au début, par kilogramme, de $0^{gr},10$ à $1^{gr},30$ d'azote. Dans les plus riches, la fixation de cet élément a cessé d'être observée au delà de $1^{gr},30$ à $1^{gr},70$. Ces données sont importantes ; non que je prétende que ces limites ne puissent être dépassées, soit avec des sols différents, soit en opérant dans des conditions nouvelles; mais elles représentent des données de fait, répondant aux observations que j'ai exécutées jusqu'à présent.

Entrons dans des détails plus circonstanciés.

I. Sables argileux jaunes, tirés d'une feuille récente, triés et tamisés pour séparer les pierres et les débris organiques, et exposés à l'air pendant quelques jours.

Ils contenaient à l'origine :

Premier échantillon. — Pour 1 kilogramme de terre sèche (à 110°) :

	gr.		gr.
Azote organique..........	0,0705		
Azote des nitrates........	0,0004		
Carbone organique........	0,819	Composés insolubles à froid dans les acides étendus..	0,638
		Composés solubles à froid dans les acides étendus..	0,181
Carbone des carbonates...	0,0006		
Potasse..................	4,48		
Eau......................	17,3		

L'azote dans ce sable s'est élevé, en deux ans, aux valeurs suivantes :

$0^{gr},098$ (prairie),
$0^{gr},129$ (flacon clos),
$0^{gr},118$ (chambre),

suivant les conditions des expériences.

Second échantillon. — Pour 1 kilogramme de terre sèche :

	gr.		gr.
Azote organique..........	0,1101		
Azote des nitrates........	0,0018		
Carbone organique........	1,784	Composés insolubles à froid dans les acides étendus...	1,244
		Composés solubles à froid dans les acides étendus...	0,540
Carbone des carbonates...	0,103		
Potasse........	7,02		
Eau.............	19,2		

L'azote dans ce sable s'est élevé, en deux ans, aux valeurs suivantes :

0gr,129 (prairie),
0gr,140 (sommet d'une tour),
0gr,150 (flacon clos),
0gr,164 (chambre),

suivant les conditions des expériences.

II. Kaolins bruts, tels qu'ils sortent de la carrière, sans avoir subi le phénomène de la pourriture en fosses. Ils contenaient à l'origine :

Premier échantillon. — Pour 1 kilogramme de terre sèche :

	gr.		gr.
Azote organique.........	0,0170		
Azote des nitrates.......	0,0044		
Carbone organique.......	0,916	Composés insolubles à froid dans les acides étendus...	0,233
		Composés solubles à froid dans les acides étendus	0,683
Carbone des carbonates..	0,036		
Potasse.................	47		
Eau....................	325	réduite à 46 gr. par dessiccation à l'air.	

L'azote ne s'est pas fixé la première année, sans doute à cause de l'excès d'eau. Il s'est élevé, après deux ans, aux valeurs suivantes :

$0^{gr},035$ (prairie),

$0^{gr},056$ (sommet d'une tour),

$0^{gr},049$ (flacon clos),

$0^{gr},041$ (chambre),

suivant les conditions.

Second échantillon. — Pour 1 kilogramme de terre sèche

	gr.		
Azote organique..........	0,0630		
Azote des nitrates........	0,0030		
Carbone organique	0,563	Composés insolubles à froid dans les acides étendus...	gr. 0,361
		Composés solubles à froid dans les acides étendus...	0,202
Carbone des carbonates...	0,019		
Potasse....................	60		
Eau, en excès au début.			
Après un an............	49		

L'azote s'est élevé, en deux ans, aux valeurs suivantes :

$0^{gr},114$ (prairie),

$0^{gr},150$ (sommet d'une tour),

$0^{gr},124$ (flacon clos),

suivant les conditions.

III. Terres végétales proprement dites :

Échantillons divers mis en expérience.

Pour 1 kilogramme de terre sèche, au début :

	gr. gr.
Azote organique........	1,092 à 1,074
Azote nitrique..........	0,076 à 0,00 (épuisé par lavages)
Carbone organique (1)..	23,0
Soufre total............	1,42
Phosphore total........	0,641
Potasse.................	8,92
Chaux..................	33,2 (dans un échantillon).
Eau....................	100 à 133 (suivant les échantillons).

(1) Dosé à la fin sur un échantillon qui contenait $1^{gr},71$ d'azote.

L'azote dans ces échantillons s'est élevé, en un an, à

1gr,18 ; 1gr,23 ; 1gr,24 ; avec le concours de la végétation : 1gr,34 et 1gr,71, sans végétation, suivant les conditions.

Cette composition s'applique bien entendu, à des sols homogènes. Si l'on faisait des mélanges artificiels de terreaux, plus riches en azote, avec des sols pauvres, des calcaires, ou avec des sables calcinés, ces mélanges ne seraient pas nécessairement comparables aux terres naturelles que j'ai étudiées.

Celles-ci ne seraient pas non plus assimilables à des terres exposées à l'air depuis longtemps, ou mélangées d'engrais, ou bien encore épuisées, soit par la nitrification, soit par une végétation intensive.

3. ***État sous lequel l'azote est fixé.*** — La fixation de l'azote sur un sol argileux, récemment tiré des profondeurs, a lieu sous la forme de composés organiques complexes, qui paraissent appartenir aux tissus de certains microbes contenus dans le sol, et non sous la forme d'ammoniaque, ou d'acide azotique. C'est ce qui résulte de l'étude de la composition chimique du sol et des composés carbonés qu'il renferme (p. 30 et 85). En effet, l'azote, je le répète, ne s'y trouve pas sous forme de nitrates ou de sels ammoniacaux, mais à l'état de composés amidés insolubles, lentement décomposables par les acides et par les alcalis et comparables aux corps albuminoïdes et à leurs dérivés. En rapportant l'azote à la composition des albuminoïdes, on trouve que, dans nos sables argileux, ces derniers principes renfermeraient le tiers ou la moitié du carbone total des composés insolubles : ce qui fournit une première notion sur la nature des êtres vivants qu'ils contribuent à former, êtres voisins par leur composition des semences et des jeunes tissus végétaux.

Peut-être n'est-il pas superflu d'observer que la fixation de

l'azote sur les composés organiques soumis à l'influence de l'effluve électrique (1) donne pareillement lieu à des combinaisons complexes, comparables à celles que forment les êtres vivants. Il y a là une certaine analogie entre l'action chimique des êtres vivants et celle de l'effluve, l'une et l'autre agissant à basse température et avec formation de combinaisons condensées.

Quoi qu'il en soit, on peut donner une autre preuve, moins directe à la vérité, de la constitution des êtres sur lesquels se fixe l'azote, d'après les conditions de stérilisation. En effet, la fixation cesse d'avoir lieu lorsque la terre a été portée à 100°, pendant quelque temps (ce volume, p. 69-73). L'aptitude à fixer l'azote demeure ainsi anéantie, au moins pour un intervalle de temps considérable. Elle est également suspendue, sinon détruite, dès la température de 40 à 45° et dans des conditions diverses que je vais énumérer.

En fait, j'ai reconnu que les conditions qui favorisent l'absorption de l'azote sont celles qui permettent la circulation lente des gaz atmosphériques dans l'épaisseur du sol, telles que :

Porosité de la terre ;

Présence d'une dose d'eau limitée, spécialement comprise entre 2 ou 3 centièmes et 15 centièmes (cette dernière condition est applicable à la terre nue, non à la terre couverte de végétation ;

Présence de l'oxygène, en même temps que de l'azote ;

Température supérieure à 10°, mais moindre que 40 ou 45°.

L'oxydation ne doit pas être trop activée et poussée jusqu'à nitrification.

Ajoutons enfin que la fixation de l'azote sur une masse de terre déterminée, dans laquelle ne se développe aucune vé-

(1) Ce volume, livre II.

gétation proprement dite, ne se poursuit pas indéfiniment : l'aptitude à la provoquer de la part des êtres ou des matières contenus dans la terre paraissant s'épuiser au delà d'un certain terme.

Examinons plus en détail ces diverses conditions et circonstances qui président à la fixation de l'azote.

4. La *porosité de la terre*, poussée jusqu'à un degré très marqué, est indispensable pour la fixation de l'azote. Celle-ci n'a eu lieu, et j'insiste, que sur une terre ameublie, non cohérente, perméable, où l'air pouvait circuler. J'ai publié déjà diverses expériences sur ce point (ce volume, p. 35, 36, etc.), et je vais en donner de nouvelles. Cela se comprend d'ailleurs : dans un sol compact, les gaz, et par conséquent l'azote, ne circulent pas et n'arrivent pas au contact des agents fixateurs. Or l'observation prouve qu'une terre argileuse, même riche en matières organiques, si elle contient une dose d'eau notable, sans en être cependant absolument gorgée, et si elle est abandonnée dans un pot sous une certaine épaisseur et exposée d'ailleurs à la pluie, ou même simplement à la rosée et à l'action de la vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère, qui en empêche la dessiccation ; cette terre, dis-je, se change peu à peu en une masse cohérente, sous l'influence de l'eau qu'elle contient ou reçoit, et de diverses autres causes auxquelles la vie des microbes d'espèces multiples que le sol renferme n'est sans doute pas étrangère. Dans cette masse devenue continue, l'air et l'eau circulent mal désormais. Les êtres aérobies qu'elle contenait font place aux anaérobies, corrélatifs de fermentations spéciales et réductrices. Il y a plus : si la dose de l'eau passe une certaine limite, un tel sol finit par se recouvrir d'une végétation verdâtre, constituée par des plantes inférieures. L'azote cesse alors de s'y fixer et même il diminue.

Par exemple, dans un pot contenant environ $45^{kg},5$ de terre

(supposée séchée à 110°), la dose de l'eau était au début de 17,2 centièmes (du poids de la terre supposée séchée à 110°), et le poids de l'azote s'élevait en avril 1887 à 76gr,02, soit 1gr,66 par kilogramme.

Ce pot a été laissé à l'air libre et exposé à la pluie. A la fin de septembre 1887, la dose d'eau était de 9,9 centièmes du poids de la terre sèche. Or, celle-ci ne contenait plus que 73,03 d'azote, soit 1gr,56 par kilogramme. D'ailleurs, l'eau de pluie qui avait traversé cette terre avait entraîné, d'après dosage, 1gr,83 d'azote nitrique ; ce qui fait en tout 74,06 d'azote final, soit 1gr,58 par kilogramme.

Il y a donc eu une perte de 1gr,96 d'azote sur le tout, soit 0gr,08 par kilogramme, ou les 2,6 de l'azote initial : dose minime et à peine supérieure aux erreurs d'expérience. Mais on peut au moins en conclure avec certitude qu'il y a eu arrêt dans la fixation de l'azote.

Dans un autre pot semblable, abrité contre la pluie et placé dans un endroit où la lumière directe du soleil n'arrivait pas, la terre renfermait au début (avril 1887), 17,2 centièmes d'eau et à la fin (septembre 1887) 17,9 centièmes. L'azote de la terre avait diminué un peu plus que dans l'expérience ci-dessus, car il avait baissé de 76gr,02 à 70gr,20; ce qui l'avait réduit à 1gr54 par kilogramme, au lieu de 1gr,66 au début. On remarquera la forte dose d'eau qui subsistait dant cet échantillon, dose favorable aux fermentations secondaires.

5. La *proportion de l'eau* joue, en effet, un rôle essentiel dans la fixation de l'azote par le sol. On vient de voir comment et pourquoi une dose d'eau considérable est nuisible à cet égard. D'après mes observations, elle ne doit pas surpasser en général 12 à 15 pour 100 (perte à 110°) du poids de la terre; du moins dans un sol exempt de végétaux. Cette dose d'eau est surtout nuisible si elle existe d'une manière continue dans le

sol, sans des alternatives de sécheresse relative, qui ameublissent de nouveau le sol et permettent la circulation des gaz. C'est là un point essentiel; car, en dehors de lui, la fixation de l'azote n'a pas été constatée.

S'il y a des plantes, la dose d'eau peut être plus forte, les plantes modifiant considérablement les conditions d'ameublissement du sol et autres; à supposer même que certaines espèces ne fixent pas de l'azote pour leur propre compte.

Par contre, avec la terre nue, c'est-à-dire sans végétaux supérieurs, la dose de l'eau peut être abaissée jusqu'à 2 ou 3 centièmes dans un sol argileux, sans que la fixation de l'azote cesse de s'y manifester (*voir* ce volume, p. 27-29, etc.). Mes analyses antérieures en offrent de nombreux exemples.

6. ***Différence entre les conditions de la fixation de l'azote et celles de la nitrification.*** — La proportion minima de l'eau mérite d'être notée. En effet, dans une terre desséchée à ce point, la nitrification n'a plus lieu. Il n'y a donc pas coïncidence complète entre les conditions favorables, d'une part à la nitrification, et, d'autre part, à la fixation de l'azote sur la terre : sans doute, les circonstances qui président à la vitalité des microbes producteurs de ces deux ordres de phénomènes ne sont pas les mêmes. Pour préciser, je rappellerai les chiffres suivants :

Un sol argileux renfermant par kilogramme, au début (octobre 1884) : $0^{gr},087$ d'azote organique et $0^{gr},006$ d'azote nitrique;

A la fin (octobre 1885) : $0^{gr},1105$ d'azote organique et $0^{gr},007$ d'azote nitrique.

Dans une autre expérience, de même durée, l'azote organique a passé de $0^{gr},110$ à $0^{gr},156$ par kilogramme;

Tandis que l'azote nitrique a varié seulement de $0^{gr},002$ à $0^{gr},008$.

De même, dans une terre qui a passé de $1^{gr},32$ à $1^{gr},50$ d'azote par kilogramme, l'azote nitrique n'a varié que de $0^{gr},070$ à $0^{gr},076$, etc.

Ajoutons encore que la nitrification s'opère très bien dans une terre humide, et même dans un liquide aqueux, pourvu que l'oxygène ait un accès convenable : conditions toutes différentes de celles de la fixation de l'azote par le sol.

7. *Présence de l'oxygène.* — La nécessité de ce gaz existe pour la fixation de l'azote, aussi bien que pour la nitrification : probablement parce que les microbes qui déterminent ces deux genres de phénomènes sont également aérobies. C'est ce qui résulte des remarques précédentes sur le rôle de la porosité de la terre, lors de la fixation de l'azote, et sur l'absence de cette fixation, dans un sol qui tend à se couvrir de végétaux inférieurs et à être le siège de fermentations réductrices : soit que ces végétaux inférieurs, ainsi que les microbes anaérobies des fermentations réductrices, détruisent directement les microbes fixateurs d'azote ; soit qu'ils enlèvent simplement l'oxygène, indispensable pour le développement de ces microbes.

J'ai fait quelques expériences nouvelles, qui conduisent à une conclusion analogue. Par exemple, si l'on remplit complètement un flacon avec une terre ameublie et légèrement humide, on trouve qu'au bout de quelques mois l'oxygène de l'air contenu dans l'intérieur de la masse a disparu ; mais on n'observe pas que la dose d'azote combiné ait augmenté dans la terre.

La fixation de l'azote par la terre, aussi bien que la nitrification, est donc corrélative de la présence de l'oxygène. Toutefois, le premier phénomène ne coïncide pas avec une oxydation très active ; tandis que celle-ci favorise au con-

traire la nitrification. Il y a là une nouvelle différence entre les deux ordres de phénomènes.

8. *Température.* — La température la plus convenable pour la fixation de l'azote est celle de l'été de nos climats. En hiver, au voisinage de 10° et au-dessous, la dose d'azote reste stationnaire, ainsi que le montrent mes analyses déjà publiées. Par exemple (ce volume, p. 27), une terre qui contenait, par kilogramme sec, le 29 mai 1884 :

	gr.	
Azote organique....................	0,0705	0gr,0709
Azote nitrique......................	0,0004	

avait gagné, le 10 octobre 1884 (période d'été), une dose d'azote qui en avait porté le chiffre aux valeurs suivantes :

	gr.	
Azote organique....................	0,0871	0gr,0933
Azote nitrique......................	0,0062	

Le 30 avril 1885 (après une période d'hiver), on y a trouvé :

	gr.	
Azote organique....................	0,0833	0gr,910
Azote nitrique......................	0,0077	

Ces derniers chiffres sont sensiblement les mêmes que les précédents.

Mais, le 10 juillet 1885 (période d'été), on a trouvé :

	gr.	
Azote organique....................	0,1035	0gr,1109
Azote nitrique......................	0,0074	

Le gain d'azote avait donc recommencé, sans d'ailleurs que l'état de nitrification eût varié.

J'ai fait plusieurs observations de ce genre.

C'est donc en été, et pendant la période de la végétation active, que le phénomène se développe.

J'ai cherché s'il est accéléré par une élévation notable de

température. A cet effet, j'ai maintenu dans une étuve pendant plusieurs mois (décembre à mars), à une température voisine de 40 à 45°, des échantillons de sables argileux capables de fixer l'azote, après les avoir placés dans des flacons bien bouchés et remplis les uns en totalité, les autres à moitié.

Voici les chiffres observés :

I. *Sable argileux.* — Pour 1 kilogramme sec :

		gr.
Eau		21
Azote initial		0,1179
Azote final	flacon à demi rempli	0,1123
	flacon entièrement rempli	0,1107

II. *Autre sable argileux.*

Eau		7 5
Azote initial		,1639
Azote final	flacon à demi rempli	0,157
	flacon entièrement rempli	0,1598

III. *Argile blanche* (kaolin).

		gr.
Eau		53
Azote initial		0,0407
Azote final	flacon à demi rempli	0,0360
	flacon entièrement rempli	0,0370

IV. *Autre argile blanche.*

		gr.
Eau		63,5
Azote initial		0,1078
Azote final	flacon à demi rempli	0,0805
	flacon entièrement rempli	0,0830

On voit qu'aucun de ces sols n'a gagné d'azote, dans ces conditions. Ils ont même tendu à en perdre, en raison, sans doute, de la formation de l'ammoniaque, par l'action de l'eau sur les amides à cette température élevée.

Ainsi la fixation de l'azote n'a pas eu lieu dans ces circonstances : soit qu'une température de 40 à 45° fasse périr les

microbes qui la déterminent, ou altère les principes azotés qui sont le siège de cette fixation; soit que l'eau de la terre, prenant une tension de vapeur considérable, et manifestée par son transport et sa condensation aux parois des vases, exerce quelque influence nuisible, d'ordre chimique, physique, ou physiologique : car on pourrait citer des exemples analogues dans ces trois ordres de phénomènes.

9. *Limitation.* — Voici une remarque d'une grande importance. J'ai observé que la fixation de l'azote par les sols argileux, étudiée en dehors de la végétation proprement dite, n'est pas un phénomène illimité. Elle a lieu sur des sols neufs, c'est-à-dire récemment tirés de la profondeur et exposés à l'air, sans avoir été le siège de végétations antérieures, au moins de date récente; j'en ai fourni de nombreux exemples, dans mes expériences précédentes.

Mais, au bout de quelques années, dans un sol abandonné à lui-même et où ne se développe aucune végétation, cette action s'épuise et elle peut même rétrograder : sans doute parce que les microbes qui la déterminent ont accompli leur cycle vital et épuisé la transformation de la dose limitée de matière organique et nutritive pour eux, que le sol renferme. L'oxydation de cette matière doit aussi concourir à l'épuiser. Ce fait est bien connu des praticiens et des jardiniers, qui regardent un sol nu, exposé à l'air depuis un certain nombre d'années, comme un sol *usé* et peu propre à servir de support à la végétation, du moins sans addition d'engrais.

Observons d'ailleurs que, dans un sol quelconque, la dose des principes carbonés ne saurait s'accroître que sous l'influence des végétaux supérieurs, lesquels empruntent leur carbone à l'atmosphère; ou bien de leurs résidus, c'est-à-dire des engrais hydrocarbonés ajoutés au sol.

Je citerai, comme exemples de ces ralentissements et arrêts

dans la fixation de l'azote, des terres analysées à plusieurs reprises consécutives, en 1885 et en 1886; en 1887 et 1888.

Premier échantillon. — Pour 1 kilogramme de terre sèche,

1° Octobre 1885 :

	gr.
Eau	87
Azote	1,317

2° Novembre 1886 :

	gr.
Eau	15
Azote	1,498

Il y a eu accroissement d'azote.

3° Avril 1887. Autre échantillon de la même terre, non identique, fort analogue au précédent, quoique un peu plus riche :

	gr.
Eau	168
Azote	1,683

4° Cet échantillon, conservé dans un flacon, a fourni en janvier 1888 (l'eau n'ayant pas varié) :

Azote	1gr,669

Il semble ici que l'on ait atteint la limite.

A la vérité, la dose de l'eau était ici trop forte; mais cette objection ne s'applique pas aux deux essais suivants.

Deuxième échantillon de terre.

1° Terre en pot ouvert. Mai 1886 :

	gr.
Eau	133
Azote	1,092

2° On la conserve à l'air libre, sous un abri. On trouve en Novembre 1886 :

	gr.
Eau	51
Azote	1,266

Cette terre avait donc gagné dans la première période un sixième du poids de l'azote initial.

3° On l'a conservée ensuite dans une cave, ou plutôt dans un sous-sol sec, aéré, faiblement éclairé, en pot ouvert, jusqu'en décembre 1887.

Elle renfermait alors .

	gr.
Eau	24
Azote	1,127

Il y a donc eu perte d'un dixième de l'azote pendant cette seconde période, c'est à dire rétrogradation.

Troisième échantillon de terre.

1° Terre en pot ouvert. Mai 1886 :

	gr.
Eau	100
Azote	1,072

2° Le pot est placé à l'air libre, exposé à la pluie. On y fait développer des Amarantes pyramidaux. La terre, indépendamment des végétaux, renfermait, en octobre 1886, pour 1 kilogramme :

	gr.
Eau	154
Azote	1,130

Il y a eu gain d'azote dans cette période.

Puis on a effectué la conservation de la terre dans le même sous-sol, en pot ouvert, jusqu'en décembre 1887. A cette époque, on a trouvé :

	gr.
Eau	30
Azote	1,051

L'azote avait donc un peu rétrogradé.

Le sous-sol était faiblement éclairé : circonstance qui a peut-être joué un certain rôle, bien que j'aie observé précé-

demment la fixation de l'azote même dans l'obscurité (ce volume, p. 63, 65, 67, 69).

Observons en passant que, dans les essais actuels, l'atmosphère illimitée contenait, comme toujours, des traces d'ammoniaque; leur présence cependant n'a pas coïncidé avec une fixation d'azote.

Ces résultats établissent le fait même de la limitation dans la fixation de l'azote par la terre : mais je ne prétends nullement qu'ils en fixent les limites absolues, ces limites variant sans doute avec la nature des terres et diverses autres circonstances. Je me suis borné à relever les faits et les nombres que j'ai eu occasion d'observer.

Cette limitation, observée ici dans la fixation de l'azote sur un échantillon donné de terre, semble aussi exister pour la nitrification (1). On peut se demander si elle a lieu également lorsque la terre est le siège d'une végétation supérieure plus ou moins active. Ce point sera traité plus loin. La réponse semble d'ailleurs varier suivant la nature des espèces végétales : les unes épuisant la terre de ses principes fertilisants, tandis que les autres pourraient être susceptibles de les régénérer.

Un mot encore, en terminant, sur la méthode suivie dans les présentes expériences. Cette méthode consiste principalement à tenir compte des conditions physiologiques, susceptibles de présider à la vie des microbes fixateurs d'azote.

On pourrait objecter que l'existence de ceux-ci ne repose que sur des inductions; mais les conditions que je viens de rappeler sont plus certaines, car je ne parle pas *a priori*, mais d'après des expériences précises que je viens de rappeler. C'est en tenant compte, et non en prenant une terre au

(1) Cf. l'expérience de Boussingault, *Agronomie*, t. V, p. 315 et suiv.

hasard et en la traitant à la façon d'un simple composé chimique, que l'on réussira à obtenir les résultats observés, qu'ils soient ou non attribuables à la vie des micro-organismes.

Le rôle de ceux-ci me paraît d'ailleurs offrir un intérêt tout particulier. En effet, il ne s'agit plus d'envisager surtout, comme on l'avait fait jusqu'ici, « les micro-organismes comme chargés de restituer à l'air et au sol les matériaux que la végétation leur a empruntés ». Ce rôle est essentiellement analytique et ne présente point de corrélation nécessaire avec la vie végétale proprement dite. Or, c'est au contraire une telle corrélation entre l'activité des cellules agglomérées en grands organismes que constituent les végétaux supérieurs, et les cellules isolées ou groupées en petit nombre, cellules plus ou moins analogues aux précédentes, qui constituent les microbes de la terre ; c'est cette corrélation, dis-je, qui est l'objet principal des travaux que j'exécute, lesquels sont encore loin de leur terme. Je n'en ai dissimulé, d'ailleurs, ni les difficultés ni les points qui réclament un plus long examen : il faut des années pour toute recherche touchant à l'Agriculture et à la vie végétale. Quoi qu'il en soit, ces êtres élémentaires ne provoquent pas seulement des décompositions, comme on l'admettait autrefois, mais aussi des synthèses véritables ; c'est par là que leur étude se rattache à l'œuvre que je poursuis en Chimie depuis tant d'années.

CHAPITRE VI

RECHERCHES SUR LE DRAINAGE

Dans le cours des études relatives à la fixation de l'azote par la terre végétale, études poursuivies depuis l'année 1883 à la Station de Chimie végétale de Meudon, j'ai été amené à diverses reprises à comparer les apports en azote combiné, dus à la pluie et à l'atmosphère, avec les déperditions produites par les eaux de drainage (1). Il me paraît utile d'y revenir, à cause de l'importance du résultat qui s'y manifeste, à savoir que :

Les eaux de drainage, provenant de la pluie, enlèvent au sol nu une dose d'azote combiné très supérieure à celle que l'atmosphère et spécialement l'eau pluviale peuvent lui apporter.

La démonstration, dans mes expériences, prend un caractère de netteté complète, parce que j'opère sur une masse de terre limitée, de dimensions rigoureusement connues et renfermée dans un pot qui la met à l'abri des infiltrations illimitées du sol environnant, ainsi que des pertes ou gains mal définis qui pourraient en résulter. J'ai opéré aussi en présence des végétaux supérieurs, condition qui rend les résultats plus variés. Enfin j'ai employé tantôt une terre renfermant ses nitrates naturels, tantôt une terre dépouillée de ses nitrates par lessivage, au début des expériences.

Les résultats numériques d'un certain nombre des expériences ont déjà été transcrits dans un chapitre relatif à la

(1) Pluie : ce volume, p. 45, 94, 106, 110, 137, 138; arrosage, p. 48, 118, 119 et suiv., 137, 138; atmosphère, p. 49-54, 105, 110; drainage, p. 95, 99, 106, 110, 111, 114.

fixation de l'azote par la terre végétale ; mais ils y sont présentés à un autre point de vue et à l'appui d'une thèse plus générale. L'importance de la question du drainage m'a engagé à les reprendre ici séparément, pour la discussion spéciale de ce problème.

I. De la terre végétale a été recueillie dans une prairie, séchée à l'air libre sous un hangar, tamisée avec un tamis de $1^{mm},6$, de façon à la débarrasser des cailloux et des débris végétaux apparents ; puis on a placé 56 kilogrammes de cette terre, renfermant 5 kilogrammes d'eau et 51 kilogrammes de terre sèche (supposée séchée à 110°), dans un grand pot de grès verni, percé de trous à sa partie inférieure, de façon à permettre l'écoulement des eaux de drainage, lesquelles étaient récoltées au-dessous à l'aide d'un grand plat, d'où elles tombaient au sein d'un flacon. Elles étaient analysées immédiatement, parallèlement avec la pluie dont elles provenaient. Ce pot était exposé à l'air libre dans une prairie. La terre occupait dans le pot une épaisseur de 50 centimètres environ et sa surface supérieure était de 1520 centimètres carrés. Cette terre contenait au début $0^{gr},380$ d'azote nitrique, d'après un dosage fait sur 1 kilogramme du même échantillon. La proportion de l'eau a varié dans les pots : tantôt elle a été en diminuant, par suite de l'évaporation ; tantôt elle a été au contraire en s'accroissant, jusqu'au maximum de la capacité absorbante de la terre, par suite des chutes de pluie. A la fin, c'est-à-dire sept mois après, elle s'élevait à $8^{kg},5$. Le poids de l'azote nitrique resté dans la terre montait alors à $0^{gr},853$.

L'expérience a duré du 24 mai au 20 novembre 1886.

L'eau de chaque pluie a été recueillie simultanément, dans un udomètre juxtaposé, de surface connue (706 centimètres carrés), et elle a été analysée de même immédiatement. Observons que les dosages doivent être faits de suite ; si l'on

attendait quelques jours, une partie de l'azote ammoniacal et nitrique pourrait être ramenée à l'état organique par les végétaux inférieurs, susceptibles de se développer au sein des eaux.

D'après ces analyses, on peut calculer les apports que la pluie a fournis à la terre du pot mis en expérience.

En définitive, pendant ce temps, la terre a reçu $51^{lit},7$ d'eau pluviale et cette eau renfermait :

	gr.
Azote ammoniacal	0,048
Azote nitrique	0,013
Azote organique, environ	0,013
Total	0,074

L'azote ammoniacal gazeux apporté par l'atmosphère, dans le même temps et au même point de la prairie, tel qu'il a été absorbé par une surface égale d'acide sulfurique étendu, s'élevait à $0^{gr},048$. La terre en a certainement absorbé beaucoup moins : car son action n'est nullement comparable à celle d'un acide et surtout d'un acide puissant. En ajoutant ce chiffre aux apports de la pluie, nous attribuerons une valeur exagérée à l'azote combiné venant de l'atmosphère. Il est donc certain que l'azote combiné apporté par l'atmosphère a été inférieur à la somme des deux poids :

$0^{gr},074 + 0^{gr},048$; c'est à dire inférieure à $0^{gr},122$.

Pendant le même temps, on a recueilli les eaux de drainage fournies par le pot, et on les a analysées, autant que possible le lendemain de chaque pluie. Les volumes réunis de ces eaux se sont élevés à $14^{lit},8$. De la comparaison de ce chiffre avec le volume de l'eau reçue ($51^{lit},7$) et avec le volume de l'excès d'eau ($3^{kg},5$) retenue par le sol, à la fin de l'expérience, il résulte d'abord que $33^{lit},4$, différence entre les nombres précédents, soit :

$$51^{lit},7 - (14^{lit},8 + 3^{lit},5 = 18^{lit},3) = 33^{lit},4,$$

c'est-à-dire environ les deux tiers de l'eau pluviale, ont été évaporés.

Cette eau de drainage contenait, d'après dosage immédiat :

Azote nitrique..................... .. $0^{gr},674$,

dose comparable à celle que le sol avait retenue d'autre part ($0^{gr},853$).

L'azote ammoniacal et l'azote organique n'ont pas été dosés dans les eaux de drainage ; mais des essais spéciaux ont montré que la dose en est faible, comme on le sait d'ailleurs des eaux de drainage en général. En tout cas, cette dose ne pourrait qu'augmenter celle de l'azote entraîné par le drainage.

D'après ces données, l'azote ainsi perdu par drainage, dans l'expérience présente, a été presque décuple de l'azote combiné apporté par la pluie, et six fois aussi considérable que l'azote combiné, susceptible d'être fourni par l'atmosphère, tant sous forme gazeuse que dissous dans les eaux pluviales. Ce sont là les chiffres de l'expérience totale. Mais, si l'on se borne à envisager de courts intervalles, l'écart peut être bien plus considérable ; car le drainage d'une seule pluie est parfois capable d'entraîner en un jour cinquante fois autant d'azote qu'elle en a apporté. Le 7 et le 8 juin, par exemple, la pluie a apporté environ $0^{gr},010$ d'azote sous diverses formes ; tandis que le drainage en a entraîné $0^{gr},522$: la disproportion peut être plus grande encore.

Rappelons enfin que les 51 kilogrammes de la terre du pot, dans cette expérience, avaient fixé $12^{gr},38$ d'azote, principalement à l'état d'azote organique.

Dans cet essai, l'azote total des nitrates retrouvé s'élevait à

$$0,853 + 0,674 = 1^{gr},527.$$

Une portion répond aux $0^{gr},380$ d'azote préexistant dans la

terre au début de l'expérience; mais on voit qu'une autre partie renfermant $1^{gr},143$ d'azote, s'y était formée pendant sa durée.

La dose d'azote entraînée par le drainage surpassait celle qui existait au début : cette dernière a même été entraînée tout entière par une forte pluie, survenue le 7 juin. Le surplus répond, par conséquent, aux produits de la nitrification du sol. Pour mieux distinguer ces deux ordres d'effets, on a fait simultanément l'expérience suivante :

II. $58^{kg},2$ de la même terre, contenant $50^{kg},4$ de terre sèche (supposée à 110°) et $7^{kg},8$ d'eau, ont été placés dans un pot pareil; avec cette différence que la terre avait été épuisée au préalable de nitrates, par un lessivage prolongé à l'eau froide. On a vérifié cet épuisement total sur les dernières eaux. Au début, c'est-à-dire avant lessivage, cette terre contenait 5 kilogrammes d'eau; mais les lavages nécessaires pour l'épuiser de nitrates ont amené l'eau à une proportion telle, que la terre au moment de l'analyse initiale en contenait $7^{kg},8$. A la fin de l'expérience, sept mois après, la terre en renfermait $8^{kg},4$: dose peu différente de celle du début.

L'expérience a eu sept mois de durée, du printemps à l'automne.

Pendant ce temps la terre a reçu $51^{lit},7$ de pluie, renfermant $0^{gr},074$ d'azote combiné; les apports possibles d'azote ammoniacal gazeux élèveraient ce chiffre à $0^{gr},122$: valeur excessive, ainsi qu'il a été expliqué (p. 149).

Cette fois, l'eau de drainage récoltée a été de $19^{lit},36$, chiffre un peu supérieur au précédent; sans doute parce que la terre a offert quelque différence dans son état d'ameublissement final. Dans cette eau, on a trouvé :

Azote nitrique........................ $0^{gr},198$

C'est presque le triple des apports dus à la pluie, et moitié

plus que l'azote combiné, qui aurait été susceptible à la rigueur d'être fourni par l'atmosphère, tant sous forme gazeuse que sous forme dissoute. Cet excès d'azote nitrique est dû à la nitrification opérée dans la terre pendant le cours de l'expérience. La terre avait d'ailleurs fixé durant celle-ci, 24^{gr},15 d'azote.

Cette terre contenait à la fin 0^{gr},327 d'azote nitrique. En les ajoutant aux 0^{gr},198 entraînés par drainage, cela fait en tout 0^{gr},525 d'azote, correspondant aux nitrates formés au cours de l'expérience actuelle. Ce chiffre est moitié plus faible que celui de l'expérience précédente ; probablement parce que la terre, au début, était gorgée d'eau, à cause du lessivage. Celui-ci avait pu modifier d'ailleurs la vie des agents nitrifiants : mais ce n'est pas ici le lieu d'examiner cette question.

Voici maintenant deux expériences sur l'influence du drainage, faites avec le concours de la végétation :

III. Le pot contenait 55 kilogrammes de terre normale, soit 50 kilogrammes terre sèche et 5 kilogrammes eau. Cette terre renfermait 0^{gr},389 d'azote nitrique au début. A la fin, l'eau s'élevait à 7^{kg},7 ; l'azote nitrique à 0^{gr},037. Sept mois de durée.

Vingt petits pieds d'Amarante pyramidal (pesant ensemble 78^{gr},8 humides et 11^{gr},4 secs) ont été repiqués, le 24 mai, dans le pot, puis enlevés successivement, au fur et à mesure de leur développement, jusqu'au 9 octobre. Les poids réunis de ces pieds, au moment où ils ont été enlevés, montaient à 403^{gr},6 humides, et à 109^{gr},9 secs; c'est-à-dire à un poids décuple de l'origine. En particulier, le dernier pied pesait à lui seul 123 gr. à l'état humide, 33^{gr},4 à l'état sec ; au lieu de 0^{gr},55 au début.

La surface de ce pot était de 1661 centimètres carrés.

Il a reçu 56^{lit},5 d'eau pluviale, contenant 0^{gr},076 d'azote

combiné. L'azote ammoniacal gazeux, susceptible d'être apporté par l'atmosphère à ce même point, sur la même surface et dans les mêmes conditions, ne saurait être évalué, d'après les dosages précités (p. 149), qu'à un chiffre inférieur à $0^{gr},053$.

Or, les eaux de drainage recueillies se sont élevées à $14^{lit},57$; elles contenaient :

Azote nitrique........................ $0^{gr},403$

Cette dose est cinq fois aussi forte que celle des apports pluviaux observés et triple des apports atmosphériques possibles.

Si l'on compare ces résultats avec ceux de l'expérience I, on voit que la présence de la végétation a diminué la perte d'azote par drainage. Elle ne l'a pas diminué en restreignant la dose d'eau recueillie ($14^{lit},6$ pour une surface de 1661 centimètres carrés, au lieu de $14^{lit},8$ pour une surface un peu moindre de 1520 centimètres carrés); mais elle l'a fait en utilisant ces nitrates pour son propre développement. En effet, la terre n'en renfermait à la fin que $0^{gr},037$. Mais, circonstance remarquable, les plantes n'en renfermaient également que quelques milligrammes ($0^{gr},0065$ à la fin) : les conditions spéciales de la culture n'ayant pas permis la formation notable de salpêtre qui caractérise ordinairement cette plante.

La même observation s'applique à la fixation de l'azote sur cette terre : fixation réelle, car elle s'est élevée à $4^{gr},6$; mais elle a été moindre que pour la terre nue ($12^{gr},38$). Les végétaux supérieurs paraissent donc avoir consommé, dans ces conditions, une portion de l'azote fixée, mais sans tout employer.

IV. Voici maintenant un essai, où l'on a produit la végéta-

tion sur une terre privée au début de nitrates, par un lessivage opéré à froid. On a vérifié cet épuisement total dans les dernières eaux. Le poids de la terre était de $57^{kg},5$, soit $52^{kg},2$ de terre sèche et $5^{kg},3$ d'eau. A la fin, la terre renfermait $8^{kg},1$ d'eau et $0^{gr},033$ d'azote nitrique. L'expérience a eu, comme toujours, sept mois de durée.

La surface du pot était de 1589 centimètres carrés.

On y a repiqué vingt pieds d'Amarante, semblables aux précédents.

Le volume des eaux pluviales s'est élevé à 54 litres, renfermant $0^{gr},075$ d'azote combiné.

L'azote ammoniacal gazeux, susceptible d'être formé par l'atmosphère, s'élèverait, au maximum, à $0^{gr},051$.

D'autre part, on a obtenu en eaux de drainage : $15^{lit},13$; et ces eaux ont enlevé au sol :

Azote nitrique...................... $0^{gr},171$

Ce chiffre est triple de l'azote fourni par la pluie; il est une fois et demie aussi considérable que l'ensemble des apports possibles de l'atmosphère.

Ici encore la végétation supérieure a dépouillé la terre des nitrates, sans les accumuler dans les plantes; et celles-ci ont consommé une partie de l'azote fixé sur la terre. En effet, la terre a fixé seulement $7^{gr},51$ d'azote; au lieu de $24^{gr},15$ fixés sans végétation supérieure, dans l'expérience parallèle (p. 152).

V. Un essai analogue a été fait sur une terre lessivée à froid, dans un pot de 1451 centimètres carrés de surface.

Le poids de la terre était $54^{kg},5$; soit $49^{kg},5$ de terre (supposée séchée à 110°) et 5 kilogrammes d'eau. A la fin, la terre renfermait $7^{kg},6$ d'eau et $0^{gr},035$ d'azote nitrique. On a fait développer des Amarantes, comme ci-dessus. L'expérience a eu de même sept mois de durée.

L'apport des eaux pluviales (49 litres) en azote combiné, a été de $0^{gr},068$.

L'azote ammoniacal gazeux, susceptible d'être fourni par l'atmosphère, serait au maximum de $0^{gr},046$.

Or, les eaux de drainage recueillies s'élevaient à $17^{lit},07$, et elles ont enlevé au sol,

Azote nitrique........................ $0^{gr},164$

La végétation a donné lieu précisément aux mêmes remarques que dans l'expérience IV, quant aux nitrates et quant à l'azote fixé sur la terre : le gain en azote étant cette fois de $7^{gr},17$.

D'après les nombres qui précèdent, l'eau de pluie qui a arrosé les pots (mai à novembre) contenait en moyenne par litre : $0^{mgr},93$ d'azote ammoniacal et $0^{mgr},24$ d'azote nitrique; plus $0^{mgr},24$ environ d'azote organique ; en tout :

Azote combiné .... $1^{mgr},41$

Or un litre d'eau de drainage renfermait en azote nitrique, lequel représente presque tout son azote combiné :

			mgr.
I............	Terre non lavée à l'avance...	sans végétation.	45,6
II............	Terrre épuisée de nitrates à l'avance..................	sans végétation.	10,2
III............	Terre non lavée............	avec végétation clairsemée.	27,6
IV............	Terre lavée................	avec végétation clairsemée.	11,3
V............	Terre lavée................	avec végétation clairsemée.	9,6

Ces résultats s'accordent avec la grande richesse des eaux de drainage en nitrates, constatée par tous les analystes. Par exemple, dans l'*Annuaire de l'observatoire de Montsouris* pour 1884, p. 408, on trouve les chiffres suivants, par litre d'eau :

	Azote nitrique.	Azote combiné total.
	mgr.	mgr.
Drain d'Asnières..................	24,4	25,6
Drain des Cases...................	27,1	28,3
Drain d'Épinay................. ..	22,1	23,2
Drain du moulin de Cage..........	19,1	20,3

Dans certaines eaux de puits, l'azote nitrique s'est élevé, par litre d'eau, aux valeurs suivantes :

	mgr.
Asnières..............................	27
Sol de Gennevilliers..................	20
Chalvet..............................	34,5
Bois-Colombes........................	73,1

On peut encore arriver au même résultat, en s'appuyant sur les nombres trouvés à Rothamsted par M. Warington, dans le cours des célèbres expériences de MM. Lawes et Gilbert. Un litre d'eau de pluie contenait en cet endroit, comme quantités moyennes de l'année :

	mgr.	
Azote ammoniacal............	0,35	en tout : $0^{mgr},63$
Azote nitrique...........	0,14	
Azote organique.............	0,14	

tandis qu'un litre d'eau de drainage, ayant traversé un sol non cultivé, renfermait :

Azote nitrique........................ $11^{mgr},9$

et

Azote combiné total................. $12^{mgr},5$

Dans trois de nos expériences, l'influence de la végétation supérieure, fort clairsemée d'ailleurs, n'a été suffisante, ni pour empêcher la perte d'azote combiné par drainage, ni pour s'opposer au gain d'azote fait par la terre ; bien qu'elle ait agi pour diminuer ce gain et qu'elle ait épuisé la terre de nitrates. Mais il pourrait en être autrement, si la terre était complètement recouverte par une végétation active : celle-ci évaporant,

comme on sait, les eaux pluviales, de façon à arrêter plus ou moins complètement l'écoulement des eaux de drainage, et consommant en même temps, en tout ou en partie, l'azote organique, fixé par la terre ou préexistant. Il est facile de réaliser à cet égard tous les phénomènes intermédiaires.

Désirant entrer davantage dans le détail des apports et des pertes correspondant à chaque pluie notable, envisagée individuellement, nous avons exécuté deux nouvelles séries d'expériences en 1887. Nous nous bornerons à donner le détail d'une seule, les deux séries concordant d'ailleurs parfaitement.

VI. Le pot était en porcelaine de Sèvres vernie; sa surface égalait 1 550 centimètres carrés. Il renfermait 55 kilogrammes de terre végétale, représentant 45 kilogrammes de terre sèche. L'udomètre juxtaposé avait une surface de 706 centimètres carrés.

Voici les résultats obtenus, rapportés à une surface de 1 mètre carré. Toutes les analyses ont eu lieu dans les quarante-huit heures qui suivaient la pluie, toujours dans la belle saison.

	Eau de pluie.			Eau de drainage.	
Dates.	Quantité recueillie.	Azote ammoniacal.	Azote nitrique.	Quantité recueillie.	Azote nitrique.
	lit.	gr.	gr.	lit.	gr.
3 juin..........	31,87	0,0340	0,0070 (?)	9,36	0,229
26 juin..........	21,96	0,0050	0,0076	3,61	0,303
22 juillet........	49,58	0,0298	0,0098	12,91	0,840
31 juillet........	33,29	0,0133	0,0089	12,91	0,970
19 août.........	47,96	0,0326	0,0070	26,77	2,018
15 septembre....	27,48	0,0098	0,0063	6,45	0,418
7 octobre......	20,54	0,0186	0,0088	11,10	0,462
	232,68	0,1431	0,0554	83,11	5,240
Azote total...........		$0^{gr},1985$			

Un litre d'eau de pluie contenait, en moyenne,

	mgr.	
Azote ammoniacal..............	0,62	$0^{mgr},86$
Azote nitrique.................	0,24	

L'azote organique peut être évalué à un chiffre égal à l'azote nitrique ; ce qui fait en tout :

Azote combiné........................ $1^{mgr},10$

Le premier chiffre est plus faible d'un tiers que l'année précédente, mais du même ordre de grandeur.

Un litre de l'eau de drainage correspondante renfermait :

Azote nitrique........................ $0^{gr},063$

dose supérieure à celle des essais précédents.

L'expérience VII, faite dans un pot semblable et à côté, a fourni des nombres analogues. On donnera seulement le volume de l'eau de drainage, pour une surface de 1 mètre carré ; soit, $79^{lit},8$; et le chiffre total de l'azote nitrique dans cette eau, soit $4^{gr},78$.

Un litre d'eau de drainage contenait :

Azote nitrique........................ $0^{gr},058$

Toutes ces valeurs sont fort rapprochées des précédentes.

D'après ces nombres, l'azote éliminé par drainage a été 24 à 26 fois aussi considérable que l'azote apporté par la pluie. Dans tous les couples d'analyses faites sur une même pluie, sans exception, on a observé un excès analogue ; quoique le rapport ait varié depuis 5 : 1 jusqu'à 50 : 1, comme limites extrêmes. Ces oscillations dépendent de diverses circonstances, faciles à concevoir, et qu'il est superflu d'énumérer.

En définitive, le rapport total de l'azote ammoniacal à l'azote nitrique dans l'eau de pluie ne s'écarte pas beaucoup de 3 : 1 ; mais il a varié beaucoup, pour chaque chute prise séparément.

Près des deux tiers de l'eau de pluie totale se sont évaporés ou ont été retenus par la terre ; ce rapport varie d'ailleurs

d'une pluie à l'autre, en raison des changements survenus dans l'état antérieur de siccité de la terre.

Il est essentiel de remarquer ici que ces résultats n'ont pas pour conséquence générale de faire regarder le drainage comme nuisible en soi à l'agriculture. En effet, d'une part, les eaux de drainage ne sont pas nécessairement perdues ; mais elles peuvent être utilisées pour irriguer des prairies situées plus bas. En outre, le drainage, en rendant le sol perméable à l'air, y permet la circulation de l'oxygène nécessaire à la nitrification et à la destruction des microbes anaérobies et autres êtres entretenus dans les sols marécageux. Il y permet aussi la circulation de l'azote, destiné à être fixé par la terre dans certaines conditions par d'autres microbes, et à en entretenir la fertilité naturelle. Une terre gorgée d'eau n'absorbe plus guère ni oxygène ni azote, et elle tend, au contraire, à s'appauvrir en azote et en matière organique, par l'effet de certaines fermentations.

Quoi qu'il en soit, l'ensemble des résultats que je viens d'exposer éclaircit et précise davantage l'influence de l'atmosphère et des eaux météoriques sur la végétation, ainsi que les circonstances où s'opère la fixation de l'azote par les sols naturels. C'est là un sujet fécond et destiné à modifier profondément les idées reçues jusqu'à présent sur les conditions de la végétation naturelle et de l'agriculture.

CHAPITRE VII

RECHERCHES SUR L'ÉMISSION DE L'AMMONIAQUE PAR LA TERRE VÉGÉTALE (1)

Nous avons entrepris d'étudier l'émission de l'ammoniaque par la terre végétale, question d'un grand intérêt pour la connaissance des apports réels fournis par l'atmosphère.

Elle est d'ailleurs susceptible d'une solution plus rigoureuse et moins incertaine que la distinction de l'ammoniaque, contenue dans le sol, en ammoniaque libre, saline, ou amidée : cette dernière distinction étant subordonnée à la définition difficile et équivoque des actions exercées pendant un temps donné par les acides, les alcalis et par l'eau même, sur les sels ammoniacaux solubles et insolubles, ainsi que sur les amides et alcalamides divers que le sol renferme.

Au contraire, l'ammoniaque émise spontanément par la terre végétale peut être dosée, sans faire agir sur la terre elle-même aucun réactif additionnel, susceptible de déterminer la formation de l'ammoniaque qu'il est destiné à doser. Nos résultats, avons-nous besoin de le dire, s'appliquent essentiellement aux terres argileuses, de l'ordre des terres cultivées qui couvrent les plateaux supérieurs des environs de Paris : ce mot *terre* désigne des choses trop multiples et trop dissemblables pour qu'il ne soit pas nécessaire d'en préciser la définition. Nos échantillons, d'ailleurs, n'ont subi ni lavages

(1) En commun avec M. André.

spéciaux, ni traitements de laboratoires préliminaires, susceptibles d'en altérer la composition.

Nous avons examiné d'abord l'émission de l'ammoniaque par des échantillons de terre superficielle et de terre plus profonde :

Au moment de la prise d'échantillon ; puis durant les premiers jours de sa conservation en vase clos.

Nous avons mesuré aussi la quantité d'ammoniaque libre, fournie par la terre en vase clos, après une certaine durée de conservation, et dans diverses conditions.

Nous avons également étudié sur place l'émission de l'ammoniaque par un sol gazonné, couvert de végétation ; comparativement avec l'ammoniaque apportée par l'air atmosphérique, sur le même point et dans les mêmes circonstances.

Voici nos expériences :

1. Un kilogramme de terre, sur un point de la station de chimie végétale de Bellevue qui n'avait pas reçu d'engrais depuis plusieurs années, a été pris à la surface du sol, le 1er octobre 1886, après une série de jours de pluie. Cette terre contenait 171 grammes d'eau (perte à 100°).

On l'a introduite, aussitôt après la prise, dans un flacon de 4 litres ; on y a fait passer un courant d'air, en agitant continuellement, et l'on a dirigé cet air (après l'avoir tamisé sur du coton) à travers un tube à boules, contenant de l'acide sulfurique titré, très étendu. On a fait passer 6 litres d'air en une heure.

On a obtenu, en rapportant les chiffres à 1 kilogramme supposé sec,

Azote ammoniacal .... $0^{mgr},012$

La limite d'erreur des dosages, mesurée directement dans les mêmes conditions, était de $0^{mgr},006$.

2. Un kilogramme de terre prise au même point, à $0^{m},25$ de profondeur et renfermant 142 grammes d'eau, a été traité aussitôt de la même façon; il a fourni, pour 1 kilogramme supposé sec,

Azote ammoniacal................. $0^{mgr},035$

Il paraît donc qu'en ce point la couche superficielle, mouillée par la pluie, avait perdu au contact de l'air quelque peu de l'ammoniaque libre contenue dans la terre plus profonde, loin d'en avoir emprunté une dose excédante à l'atmosphère.

3. L'ammoniaque est émise également lorsqu'on conserve ces terres étalées en couche mince dans des cristallisoirs clos, à fond plat. On dépose sur leur surface des capsules renfermant de l'acide sulfurique titré. Après quinze jours de conservation (octobre 1886),

	Azote ammoniacal. gr.
Un échantillon de la terre superficielle a fourni, par kilogramme supposé sec	0,045
Un échantillon de la terre profonde a fourni, par kilogramme supposé sec	0,056

Ces nombres, un peu plus forts que les précédents, indiquent que l'émission de l'ammoniaque a continué pendant la conservation des terres.

4. Voici d'autres expériences, faites à partir du 3 juillet 1886, au milieu d'une période de sécheresse, lesquelles mettent en évidence cette émission progressive d'ammoniaque par la terre.

La terre prélevée avec soin, sur une certaine étendue et dans la couche toute superficielle, contenait par kilogramme:

46gr,3 d'eau, c'est-à-dire quatre fois moins que les précédentes. Elle renfermait (pour 1 kilogramme supposé sec) :

1gr,90 d'azote total (dosé par la chaux sodée) ;

Et

0gr,0115 d'azote nitrique (dosé dans les eaux de lavage).

1 kilogramme de terre prélevée au même point, à 0m,25 de profondeur, renfermait 178 grammes d'eau. Pour 1 kilogramme supposé sec, elle a fourni :

	gr.
Azote total	1,88
Azote nitrique	0,0081

On a placé ces échantillons sous une cloche, à côté de l'acide sulfurique titré, sans faire le vide. On a obtenu, pour l'azote ammoniacal émis et rapporté à 1 kilogramme de terre supposée sèche :

	Après		
	2 jours.	15 jours.	30 jours.
	mgr.	mgr.	mgr.
Terre superficielle	1,12	0,36	0,36
La même avec addition de 110 grammes d'eau	0,12	0,61	0,61
Terre profonde	0,14	0,42	0,55
La même avec addition de 110 grammes d'eau	0,14	0,27	0,49
La même avec 110 grammes d'eau et 110 grammes de craie en poudre	0,14	0,71	0,76

Une autre série d'expériences, faites au mois de juin, avait fourni des résultats tout à fait analogues.

Observons que l'émission d'ammoniaque par cette terre, qui n'avait subi aucun lavage depuis un certain temps, était beaucoup plus marquée qu'avec la terre récemment lavée par des pluies prolongées.

L'émission d'ammoniaque s'est accrue avec le temps, avec l'addition de l'eau, avec l'addition du carbonate de chaux : ce qui s'explique, l'eau et le carbonate calcaire ayant pour effet d'accélérer la décomposition lente des principes amidés.

5. Un échantillon de la même terre, pulvérisé, tamisé et séché d'abord à l'air (ce qui avait dû y faire disparaître à peu près l'ammoniaque libre), en a régénéré ensuite lentement quelque dose, pendant une conservation de quelques mois dans un flacon fermé. Un dosage opéré ensuite à l'aide d'un courant d'air, comme dans l'expérience n° 1, sur 1 kilogramme, a fourni :

Azote ammoniacal.................. $0^{mgr},035$

Ces expériences manifestent et précisent la propriété que la terre végétale possède d'émettre spontanément de l'ammoniaque. L'émission est déterminée par la décomposition lente, mais nécessaire, des composés amidés et ammoniacaux que la terre renferme. La décomposition même est accomplie à la fois sous l'influence des actions purement chimiques, dues à l'eau, aux carbonates terreux, et sans doute aussi sous l'influence des actions physiologiques, attribuables aux fermentations, aux microbes, à la végétation proprement dite; toutes causes agissant continuellement dans la nature.

Observons avec soin que cette émission d'ammoniaque résulte en majeure partie de réactions non réversibles, c'est-à-dire non susceptibles d'être limitées par un équilibre résultant d'actions chimiques inverses.

Au début, il n'existait pas d'ammoniaque dans l'atmosphère ambiante; je veux dire l'atmosphère contenue au sein des flacons et vases renfermant ces terres. Mais les expériences ci-dessus montrent que cette ammoniaque a pu s'y former, en très petite dose, sans être réabsorbée par la terre et à mesure, du moins en totalité. 10 litres d'air mis en contact avec cette terre ont enlevé ainsi, dans les conditions susdites : $0^{mgr},035$ d'azote ammoniacal.

La présence de traces d'ammoniaque dans l'atmosphère

ambiante n'empêche donc pas la formation de cet alcali dans la terre. On ne comprendrait pas d'ailleurs qu'elle l'empêchât, étant donnée la nature non réversible de plusieurs des réactions qui engendrent cet alcali.

Tout au plus pourrait-il arriver qu'une partie de l'ammoniaque contenue dans l'atmosphère ambiante se combinât de son côté à certains principes de la terre, distincts de ceux qui en émettent : les deux phénomènes étant en partie indépendants l'un de l'autre, à cause du défaut d'homogénéité de la masse.

Examinons maintenant jusqu'à quel point ces résultats sont applicables à une terre couverte de végétation. Ce genre d'expériences est lent et délicat. Cependant les résultats obtenus nous semblent autoriser à certaines conclusions, conformes d'ailleurs aux faits et aux déductions précédents.

Au milieu d'une petite prairie couverte de gazon, on a disposé deux supports pareils, s'élevant un peu au-dessus de l'herbe, et portant chacun une petite capsule à fond plat, renfermant un volume connu d'acide sulfurique titré, très étendu. L'un des supports a été abandonné à l'air libre, avec la précaution de recouvrir la capsule, la nuit et en temps de pluie, et d'y remplacer à mesure l'eau évaporée.

L'autre support a été recouvert d'un vase de grès verni, de 40 centimètres de diamètre, fortement appliqué sur la terre, de façon que ses bords, enfoncés à une certaine profondeur, isolassent, aussi bien que possible, le sol sous-jacent et l'herbe qui le couvrait, de l'atmosphère extérieure.

A l'aide de ces dispositions, on pouvait comparer l'ammoniaque émise dans un espace confiné, par un sol couvert de végétation, avec l'ammoniaque susceptible d'être fournie à ce même sol par l'atmosphère illimitée, pendant une même période de temps et dans des conditions de température

pareilles. Seulement il convient de ne pas trop prolonger l'expérience faite sous cloche, afin d'éviter les effets dus à l'étiolement des plantes, qui risque de se produire au bout de quelques jours.

Nous remarquerons que l'azote ne doit pas être estimé d'après la perte du titre de la liqueur acide. Cette évaluation fournit des résultats irréguliers et exposés à être excessifs, surtout au contact de l'air libre; à cause des apports dus aux poussières atmosphériques, qui neutralisent l'acide pour leur propre compte.

Ainsi, après sept jours, la perte apparente de titre répondait à $0^{mgr},10$ d'azote ammoniacal;

Tandis que le dosage par distillation a fourni seulement : $0^{mgr},068$.

Après dix-huit jours, la perte apparente de titre d'un autre échantillon répondait à $0^{mgr},28$;

Tandis que le dosage par distillation fournissait : $0^{mgr},035$.

Cette inégalité est moindre dans une atmosphère confinée, quoiqu'elle y soit encore sensible.

Voici les poids d'azote ammoniacal obtenu dans des expériences faites simultanément, deux par deux (octobre 1886) :

	Air libre.	Atmosphère confinée.
	mgr.	mgr.
Premier essai. — Duree totale, 7 jours....	0,068	0,033
Deuxième essai fait après le premier. — Durée totale, 18 jours..................	0,035	0,12

Ainsi l'ammoniaque cédée à l'acide sulfurique étendu par l'atmosphère illimitée a varié d'une expérience à l'autre, sur le même point, et elle a été moindre dans la seconde que dans la première, malgré sa durée plus que double.

Il n'y a donc pas proportionnalité nécessaire entre la durée de contact d'une même terre avec l'atmosphère et la

dose d'ammoniaque que celle-ci est susceptible de lui apporter; ce qui montre qu'un tel apport n'a pas lieu en vertu d'une tension régulière et à peu près uniforme en tous temps, de l'ammoniaque diffusée dans l'atmosphère illimitée. Il est facile de concevoir qu'il doit varier, et varie en effet, suivant les conditions incessamment variables des mouvements de l'atmosphère et des phénomènes météorologiques dont elle est le siège.

Au contraire, dans une atmosphère confinée, la dose d'ammoniaque cédée à l'acide, c'est-à-dire l'émission de l'ammoniaque par la terre couverte de végétation, s'est accrue avec le temps. On pouvait d'ailleurs s'y attendre. Cet accroissement, dû aux réactions qui se produisent dans une même masse de terre, a lieu avec la régularité d'une action naturelle, dont les conditions varient peu.

Comparons maintenant les apports ammoniacaux de l'atmosphère illimitée aux émissions faites par le sol gazonné.

Il convient d'observer d'abord que l'ammoniaque, contenue dans l'atmosphère libre située au-dessus du gazon et absorbable par l'acide sulfurique, provient, au moins pour une portion, du sol gazonné lui-même. Or, dans les essais précédents, les apports d'ammoniaque dus à l'atmosphère ont surpassé l'émission de cet alcali par le sol, lors de la première série; tandis que l'émission a surpassé au contraire les apports, dans la seconde série. Si l'origine de l'ammoniaque trouvée dans l'atmosphère superposée vient en partie de régions plus lointaines dans le premier cas; dans le second, l'émission de cet alcali par la terre gazonnée pourrait suffire à la rigueur pour en expliquer la présence dans l'atmosphère voisine.

La même observation s'applique à l'ammoniaque relativement abondante contenue dans les rosées : elle vient en

partie du sol; au même titre d'ailleurs que l'ammoniaque des brouillards et des neiges condensés à la surface des villes tire surtout son origine des vapeurs émises par les habitations humaines.

En tout cas, dans nos expériences, il n'y a point eu corrélation nécessaire entre la tension variable de l'ammoniaque, au sein d'une atmosphère illimitée, et l'émission de cet alcali par le sol gazonné : les deux actions, en fait, se sont exercées indépendamment l'une de l'autre. On pouvait prévoir qu'il en serait ainsi, en raison de l'indépendance théorique des causes qui déterminent chacune de ces actions.

CHAPITRE VIII

EXPÉRIENCES NOUVELLES SUR LA FIXATION DE L'AZOTE PAR CERTAINES TERRES VÉGÉTALES ET PAR CERTAINES PLANTES. DONNÉES ET MÉTHODES D'ANALYSE

INTRODUCTION

J'ai poursuivi, depuis 1884 jusqu'à présent, une longue suite d'expériences relatives à la fixation de l'azote atmosphérique (1), en variant méthodiquement les circonstances, afin de contrôler les résultats que j'avais observés tout d'abord. Les résultats nouveaux que j'ai obtenus confirment et étendent les anciens; ils leur donnent un degré de certitude définitive, en même temps qu'ils fournissent des notions plus exactes sur le rôle respectif de la terre et des végétaux dans cette fixation. En effet, je me suis spécialement proposé, dans les études présentes, d'examiner d'une manière comparative la fixation de l'azote par la terre et par les légumineuses : on sait que cette dernière est admise aujourd'hui par la plupart des savants, sans pourtant que son caractère véritable ait été suffisamment précisé avant l'époque de mes expériences sur la terre végétale.

Voici le plan des nouvelles expériences que j'ai exécutées en 1888.

J'ai pris trois terres argileuses différentes, dont deux assez riches en azote, l'autre plus pauvre; elles étaient d'ailleurs médiocrement riches en matière organique et faiblement calcaires.

(1) Ce volume, chap. I à VII.

Dans chacune de ces terres, j'ai semé six espèces de légumineuses, telles que le lupin, la vesce, le trèfle, la luzerne, le *Medicago lupulina* et la jarosse ; et j'ai opéré simultanément sur la terre nue, c'est-à-dire privée de végétaux supérieurs.

Je me suis placé dans quatre conditions différentes, savoir :

1° A l'air libre ;

2° Sous un abri transparent, permettant la libre circulation de l'air et de la lumière ;

3° Dans des cloches de 45 litres, hermétiquement closes ;

4° Dans une cloche pareille, où l'on faisait passer lentement, chaque jour, 50 litres d'air, privé d'ammoniaque et de poussières par les actions successives de l'acide sulfurique étendu et d'un tube en U rempli de ponce sulfurique : en outre, un litre d'acide carbonique gazeux était introduit chaque jour dans cette cloche.

Enfin, j'ai ensemencé avec certains microbes, supposés aptes à déterminer la fixation de l'azote, les trois terres précédentes, prises dans l'état naturel et dans l'état stérilisé, et placées dans des flacons fermés.

Le nombre des expériences ainsi exécutées dépasse soixante. Je vais résumer ces expériences, sans en écarter aucune : dans toutes, sans exception, j'ai observé la fixation de l'azote. En deux mois, cette fixation sous cloche s'est élevée jusqu'à 9,2 centièmes de l'azote initial combiné ; et à l'air libre, en six mois, jusqu'à 41,3 centièmes : nombres trop élevés pour laisser place à aucun doute.

Voici l'ordre adopté pour l'exposition de cette nouvelle série d'expériences, qui comprennent près de deux mille déterminations analytiques exposées dans les chapitres VIII, IX et X.

Le chapitre VIII sera consacré à préciser les ***données mêmes des expériences***, c'est-à-dire la composition des terres

employées et celle des graines ; ainsi qu'à présenter des vérifications nouvelles des *méthodes d'analyse*, spécialement en ce qui touche le dosage de l'azote.

Dans le chapitre IX, je développerai les *observations faites sur la terre nue*, je veux dire indépendamment de toute action des végétaux supérieurs, tant en vase clos, sous cloche, qu'à l'air libre, avec ou sans abri.

Le chapitre X comprendra les *expériences faites avec le concours des végétaux supérieurs ;* spécialement sur les légumineuses.

Données des expériences et méthodes d'analyse, relatives à l'étude de la fixation de l'azote.

Les expériences ont été faites sur trois terres différentes et sur six espèces de plantes, telles que le lupin, la vesce, la jarosse, le trèfle, le *Medicago lupulina* et la luzerne.

Nous allons donner le dispositif général des expériences et la composition initiale de ces diverses matières premières, en nous limitant d'ailleurs au dosage des éléments susceptibles de jouer un rôle dans les phénomènes que nous nous proposons d'étudier.

1. Disposition des pots

Les expériences ont été exécutées pour la plupart dans des pots de porcelaine vernie, cylindriques, dont la section était de 282 centimètres carrés en moyenne : telle était donc la surface supérieure de la terre. Dans un certain nombre de cas, on a employé des pots plus petits : ceci n'a pas d'importance pour le calcul de la proportion d'azote rapportée au poids de la terre ; mais, quand il s'est agi de faire ce calcul

pour une surface donnée, un hectare par exemple, on a tenu compte de la surface réelle du pot mis en expérience.

Le pot était percé d'un trou à sa partie inférieure. Lorsqu'on opérait en plein air, on plaçait au-dessous un entonnoir, destiné à récolter les eaux de drainage, dues à l'action de la pluie, et à les conduire dans un flacon. On avait soin, lorsque de telles eaux s'étaient produites, d'y doser les nitrates le jour même.

Le poids de la terre a varié entre 1 et $3^{kg},5$; elle occupait d'ordinaire une épaisseur de 18 centimètres environ.

Le dernier poids se rapporte aux plus grands des pots précédents; les autres poids, à des pots plus petits, mais de forme analogue.

Dans chaque pot, on introduisait d'abord une couche (pesée) de pierres siliceuses très compactes (caillasse), en fragments polyédriques, choisis sans fissures ni cavités, de la grosseur d'une noix, enfin obtenus par une fracture récente et exempts de matière organique. Puis on disposait par-dessus la terre, préalablement écrasée et rendue homogène, à l'aide d'une série de tamisages opérés avec un tamis grossier.

2. Terres : disposition et analyses

Chaque échantillon de terre a été prélevé en un lieu déterminé du domaine, en un point où elle a paru suffisamment homogène; elle a été d'abord débarrassée à la main des pierres et des fragments végétaux qu'elle pouvait renfermer, et on l'a passée à un tamis de 5 millimètres. Cela fait, on l'abandonne pendant quelques jours à la dessiccation spontanée, en l'exposant à l'air sur une large surface, afin de l'amener à ne renfermer que quelques centièmes d'eau. On

la soumet alors à un nouveau broyage au mortier, de façon à faire disparaître tout fragment de pierre ou autre, d'un volume supérieur à quelques millimètres cubes, et à réduire toute la terre à l'état d'une poussière dont les grains ne dépassent pas ce volume. On la repasse alors à un tamis plus fin, dont les trous ont une ouverture de 1 à 2 millimètres, et l'on remue le tout, jusqu'à ce que l'on ait obtenu une masse homogène, aussi parfaitement mélangée que possible.

Cependant la terre destinée aux expériences ne doit pas être réduite en poudre impalpable; un broyage trop prolongé et trop énergique paraissant avoir pour effet de diminuer, ou même d'anéantir, la vitalité des microbes du sol : soit en les oxydant, soit en les contusant; conformément d'ailleurs à ce que l'on sait de l'action d'un broyage prolongé sur les bactéries (1).

La terre naturelle étant ainsi pulvérisée et desséchée par exposition spontanée à l'air, on y dose l'eau ; puis on y ramène celle-ci à une proportion déterminée, telle que 10 ou 12 centièmes, par une addition convenable, au début de chaque expérience. On en prépare ainsi chaque fois plusieurs kilogrammes, destinés à un groupe d'expériences et d'analyses.

A la fin de chaque expérience, la terre du pot est déversée sur une surface polie, après arrachage des plantes, s'il y a lieu. On sépare avec soin les débris végétaux et les racines ; et l'on renouvelle avec un soin minutieux cette opération, après que la terre a subi une dessiccation partielle à l'air. Dans certains cas, où les racines formaient un chevelu occupant tout l'intérieur du pot, il a fallu un triage de plus de trois heures, opéré avec une pince fine, pour séparer ainsi tous les fragments de racines.

(1) *Voir* aussi, sur les diverses conditions qu'il convient d'observer, le chap. V, p. 128.

Les gros morceaux de pierres, disposés au fond des pots, étaient mis à part; on en détachait avec soin la terre adhérente, pour la réunir avec le surplus, et l'on mettait ces pierres de côté.

Quand toute la terre était ainsi rassemblée, séchée à l'air libre et séparée de tous débris visibles de végétaux, on la mélangeait encore une fois, on la broyait finement au mortier, on la mélangeait et l'on faisait enfin la prise des échantillons moyens, destinés aux analyses.

On a désigné les diverses terres par des noms tirés de leur lieu d'origine; mais elles ne doivent pas être identifiées avec les terres désignées par le même lieu d'origine dans les chapitres précédents; en effet, la composition n'est constante et bien définie que pour un lot extrait sur un point donné et rendu homogène par son mode de préparation, bref préparé d'après les règles qui viennent d'être décrites.

I. — *Terre dite de l'enclos.*

Cette terre, la plus pauvre des trois en azote, était de nature argileuse, mêlée de sable siliceux. On l'a extraite dans une région bien déterminée des terrains de la Station de Chimie végétale de Meudon. Elle a été préparée avec soin, en se conformant aux règles tracées ci-dessus.

L'échantillon de cette terre mis en expérience contenait (mai 1888), par kilogramme de terre, supposée séchée à 110°:

	gr.
Eau (en plus du poids de la terre) (1)	25,6
Perte par calcination modérée à l'air	52,3
Azote combiné (2)	0,974

(1) La perte de poids de la matière primitive était de 25 grammes, et il restait 975 grammes de terre sèche; ce qui fait pour 1 kilogramme sec: 25gr,6.

(2) Dosé à la fois par la chaux sodée et par le procédé Dumas, qui ont donné des chiffres concordants.

	gr.	
Azote des nitrates (1)	0,0063	
Acide carbonique des carbonates (2)	23,06	
Carbone organique (3)	19,81	
Acide sulfurique (SO^3) des sulfates préexistants (4)	0,534	}
» renfermant soufre	0,214	}
Soufre total (5)	0,486	
Acide phosphorique (P^2O^5) des phosphates préexistants (6)	0,302	}
» renfermant phosphore	0,132	}
Phosphore total (7)	1,093	
Chaux (8)	31,20	
Potasse totale (K^2O) (9)	5,91	

(1) Dosé sous forme de bioxyde d'azote gazeux, dans le produit des lavages de la terre, etc.

(2) Dosé par pesée, en traitant 10 grammes de terre par l'acide chlorhydrique étendu et en recueillant dans la potasse d'un tube de Liebig l'acide carbonique, préalablement desséché.

(3) Ce carbone a été déterminé de la façon suivante :

On a pesé une certaine quantité de terre séchée et pulvérisée, 2gr,400 par exemple; on l'a placée dans une nacelle et on l'a chauffée lentement dans un courant d'oxygène, en dirigeant les gaz à travers de l'oxyde de cuivre porté au rouge; le tout dans un tube chauffé sur une grille à analyse organique. L'acide carbonique formé est séché par la ponce sulfurique, puis recueilli dans un tube de Liebig, comme dans une analyse organique. — Cela fait, on dose l'acide carbonique des carbonates, qui subsistent dans la nacelle renfermant le résidu de la combustion. Ce dosage s'effectue comme ci-dessus. — Enfin le poids du carbone organique contenu dans la terre s'obtient en ajoutant au carbone de l'acide carbonique, recueilli pendant la combustion, celui de l'acide carbonique des carbonates du résidu, et en retranchant celui de l'acide carbonique renfermé dans les carbonates qui préexistaient avant la calcination, lesquels ont fait l'objet d'un dosage spécial, ainsi qu'il a été dit.

(4) Extrait par l'acide chlorhydrique au dixième, agissant à froid pendant quarante-huit heures.

(5) Obtenu par combustion totale, avec le concours d'un alcali et de l'oxygène (*voir Annales de chimie*, 6e série, t. XIV, p. 119).

(6) Extrait par l'acide chlorhydrique au dixième, agissant à froid pendant quarante-huit heures.

(7) Obtenu par combustion totale, comme pour le soufre (*voir* le même Recueil, 6e série, t. XIV, p. 128).

(8) Extraite par les acides étendus à l'ébullition (*voir* le même Recueil, 6e série, t. XIV, p. 114).

(9) Par le fluorhydrate d'ammoniaque, etc. (*voir* le même Recueil, 6e série, t. XIV, p. 89).

Toutes ces méthodes d'analyse sont exposées en détail dans le tome IV du présent ouvrage.

II. — *Terre dite de la terrasse.*

La préparation de cette terre a été la même que la précédente et les procédés d'analyse identiques.

L'échantillon mis en expérience (mai 1888) renfermait, pour 1 kilogramme séché à 110° :

	gr.
Eau (en plus du poids de la terre)............	63,1
Perte par calcination........................	71,9
Azote combiné................................	1,655
Azote des nitrates...........................	0,0218
Acide carbonique des carbonates..............	5,83
Carbone organique............................	22,313
Acide sulfurique (SO^3) préexistant........	0,760
renfermant soufre............................	0,304
Soufre total.................................	0,730
Acide phosphorique (P^2O^5) préexistant....	0,184
renfermant phosphore.........................	0,080
Phosphore total..............................	0,947
Chaux..	3,44
Potasse totale (K^2O)......................	10,22

III. — *Terre dite du parc.*

Elle été préparée et analysée par les mêmes procédés. Cette terre renfermait des débris de charbon et de houille, en petite proportion, mais qui en rendaient très difficiles l'analyse et la réduction à l'état de masse homogène : difficultés qui ne s'étaient pas présentées avec les deux autres terres.

L'analyse de l'échantillon mis en expérience (mai 1888) a donné, pour 1 kilogramme séché à 110° :

	gr.
Eau (en plus du poids de la terre)............	62,0
Perte par calcination........................	91,8
Azote combiné................................	1,744
Azote des nitrates...........................	0,0168
Acide carbonique des carbonates..............	13,91
Carbone organique............................	43,468

	gr.
Acide sulfurique préexistant	0,768
renfermant soufre	0,317
Soufre total	1,018
Acide phosphorique préexistant	0,366
renfermant phosphore	0,160
Phosphore total	0,486
Chaux	22,34
Potasse totale	6,92

Un second échantillon de cette terre a été prélevé sur la même masse, à une autre époque, en vue de certaines expériences. On s'est borné à faire sur cet échantillon les dosages suivants, indispensables pour les études comparatives ; ils montrent d'ailleurs que la composition moyenne en azote combiné (1) de la masse considérable sur laquelle nous opérions, ramenée à l'état de siccité, ne variait qu'entre de faibles limites ; quoique cette masse fût trop grande pour avoir subi la pulvérisation complète et le mélange intime auxquels on avait coutume de soumettre chaque échantillon spécial, destiné à une série d'expériences déterminées. En effet, ce second échantillon a donné, pour 1 kilogramme séché à 110° :

	gr.
Eau (perte à 110° rapportée à la matière sèche).	18,4
Azote combiné	1,711
» des nitrates	0,0089

Si l'on compare ces trois terres, abstraction faite de l'eau, dont la dose dépend des conditions de la dessiccation préalable, on voit que la *terre de l'enclos* est la plus pauvre en matière organique ; car elle perd seulement 52gr,3 par calcination et renferme 19gr,8 de carbone organique. Elle est aussi la plus pauvre en azote (0gr,974) ; mais la plus riche en chaux (31gr,2) et en acide carbonique combiné (23gr,1). Les deux derniers composants représentent presque du carbonate

(1) L'azote nitrique est hors de cause, l'époque de l'analyse étant différente.

de chaux, avec un faible excès de chaux, répondant aux sulfate, phosphate, etc. Le soufre organique (0gr,272) y est minimum, ainsi que le phosphore des phosphates (0,132) : mais le phosphore total (1gr,093) n'y fait pas défaut. La potasse totale, sans faire défaut, y est aussi minimum (5gr,91).

Au contraire, la *terre du parc* est la plus riche en matière organique (perte par calcination, 91gr,8 ; carbone organique 43gr,6) et en azote (1gr,744). L'acide carbonique combiné (13gr,9) et la chaux (22gr,3) sont plus faibles, la chaux étant en excès : ce qui répond à l'existence du sulfate, du phosphate, et en outre d'un excédent sensible de sels divers ; tous ces sels calcaires sont solubles d'ailleurs dans l'acide chlorhydrique étendu. Le phosphore total dans cette terre est en moindre quantité (0gr,486) que dans la précédente. La potasse s'y trouve en quantité voisine : 6gr,92.

La *terre de la terrasse*, moitié moins riche en carbone organique que la précédente (22gr,3), est voisine, sous ce rapport, de la terre de l'enclos ; mais elle se rapproche de la terre du parc par son azote (1gr,655), et de la terre du potager par son phosphore total (0gr,947). Ce qui la distingue surtout, c'est sa pauvreté en chaux (3gr,44) et en acide carbonique combiné (5gr,83) ; ce dernier surpasse d'ailleurs la dose qui répondrait au carbonate de chaux (1). Par contre, cette terre est la plus riche en potasse (10gr,22).

J'ai cru devoir signaler ces diversités, qui doivent jouer quelque rôle dans l'interprétation des propriétés des terres ; spécialement le rapport entre l'azote et le carbone organique, lequel est si différent pour les différentes terres, et les rapports qui concernent le phosphore, la chaux et la potasse.

La composition indiquée dans les pages ci-dessus est

(1) Cet excès d'acide carbonique se trouve probablement sous la forme de carbonate de magnésie.

celle des terres mises en œuvre pour les expériences qui vont suivre.

3. Composition des graines des plantes mises en expérience

Nous nous sommes borné à déterminer l'eau, l'azote, le carbone et la cendre, c'est-à-dire les données susceptibles d'intervenir dans nos expériences. Voici les résultats :

Lupin.

30 graines pesaient à l'état naturel..........	14gr,081
» séchées à 100°..........	13gr,236

La perte à 100° était 5,99 pour 100.
Cela donne :

1 graine moyenne..........................	0gr,4694
» séchée....................	0gr,4412

On a encore :

Cendres, en centièmes de la matière séchée.	3,67
Azote (déterminé sur 3gr,14 et 2gr,95 de matière sèche), en centièmes de la matière sèche..................................	5,14
Carbone (1), en centièmes de la matière sèche.	44,11
» » cendres déduites..	45,8

Luzerne.

300 graines pesaient à l'état naturel........	0gr,6170
» séchées à 100°.........	0gr,5731
Perte à 100°, en centièmes	7,12
Poids moyen d'une graine naturelle........	0gr,002057
» séchée..........	0gr,001910
Cendres, en centièmes de la matière sèche..	6,14
Azote, en centièmes de la matière sèche....	6,08
Carbone, en centièmes de la matière sèche...	44,2
» » cendres déduites.	47,1

(1) 0gr,969 de matière sèche, brûlés dans l'oxygène avec le concours de l'oxyde de cuivre, ont fourni : 1gr,5658 d'acide carbonique. La cendre demeurée dans la nacelle contenait, en outre, 0gr,0020 d'acide carbonique combiné, que l'on a ajouté au précédent dans les calculs. — Le même mode opératoire a été suivi pour les autres graines.

Vesce.

100 graines pèsent à l'état naturel..........	4gr,3306
» séchées à 100°...........	3gr,8979
Perte à 100°, en centièmes..................	10,0
Cendres, en centièmes de la matière sèche..	6,52
Azote, en centièmes de la matière sèche....	5,25
Carbone, en centièmes de la matière sèche..	38,9
» » cendres déduites.	41,5

Pour les trois autres espèces, on s'est borné à détermi l'azote, qui est l'élément essentiel de nos comparaisons.

Medicago lupulina, mélangée de *Vulnéraire* (*Anthyllis vulneraria*)

Graines mélangées à notre insu, employées dans les expériences te qu'elles ont été livrées par le marchand.

300 graines pèsent à l'état naturel..........	0gr,7199
» séchées à 100°..........	0gr,6500
Perte à 100°, en centièmes..................	9,62
Poids moyen d'une graine naturelle........	0gr,0024
» à l'état sec......	0gr,0022
Azote, en centièmes de la matière sèche....	6,8
Cendres, en centièmes *id.*	4,50

Jarosse (*Lathyrus cicera*).

60 graines pèsent à l'état naturel...........	5gr,7917
» à l'état sec...............	5gr,2481
Perte à 100°, en centièmes..................	9,31
Poids moyen d'une graine naturelle.........	0gr,0965
» à l'état sec.......	0gr,0874
Cendres, en centièmes de la matière sèche..	2,28
Azote en centièmes, *id*.....................	5,1

Trèfle incarnat (*Trifolium incarnatum*).

350 graines pèsent à l'état naturel..........	1gr,1872
» à l'état sec..............	1gr,0691
Perte à 100°, en centièmes.................	9,95
Poids moyen d'une graine naturelle........	0gr,0034
» sèche	0gr,0031
Cendres, en centièmes de la matière sèche..	4,69
Azote des graines sèches, en centièmes, *id*..	6,6

4. — Sur le dosage de l'azote

Avant d'exposer les expériences, donnons encore diverses vérifications nouvelles, relatives aux procédés analytiques mis en œuvre pour le dosage de l'azote.

Les unes concernent le dosage de l'azote dans une même terre, à des époques différentes, en ayant soin de la placer dans des conditions telles qu'elle ne puisse subir aucune altération dans l'intervalle. Cette vérification permet de contrôler à la fois la précision permanente de l'observateur (équation personnelle) et le degré de confiance objectif, attribuable à des mesures où l'on fait varier la nature des vases, des liqueurs titrées et de la chaux sodée.

D'autres concernent le dosage de l'azote dans une terre renfermant des nitrates, comparée à la même terre privée de nitrates par lavages.

Enfin, dans une dernière série, on a opéré comparativement par le procédé de la chaux sodée (dosage de l'azote sous forme d'ammoniaque), et par le procédé Dumas (dosage de l'azote en volume) ; en examinant les résultats surtout au point de vue des dosages relatifs : c'est-à-dire en vérifiant si les variations dans la proportion d'azote, constatées sur une même terre, à des époques et après des traitements différents, sont les mêmes, soit par le dosage en volume, soit par le dosage sous forme d'ammoniaque.

[illegible]

[illegible] mesurer le degré [illegible] dans la terre [illegible] conditions [illegible] milieu [illegible].

[illegible] un espace absolument [illegible] appauvrissement [illegible] que nous avons [illegible] appauvrisse- [illegible] à hydrogène [illegible] dans une [illegible] d'exclure [illegible] exigent en [illegible] trace d'oxygène [illegible] ferments aérobies et [illegible] des êtres susceptibles d'évoluer [illegible].

Pour réaliser ces conditions, nous prenons une terre dans son état naturel, nous l'amenons par dessiccation spontanée à ne contenir que quelques centièmes d'eau; puis nous la broyons finement au mortier, par petites parties, en la tamisant à plusieurs reprises, de façon à obtenir une matière homogène, aussi parfaitement mélangée que possible et cependant non réduite en poudre impalpable (voir p. 172-173).

(1) Faites en commun avec M. André.

500 grammes environ de terre réduite en poudre sont introduits dans un grand flacon de 4 à 5 litres, préalablement rempli de gaz carbonique par déplacement. On agite, on laisse reposer, de façon à déplacer l'air condensé dans la terre. On renouvelle le gaz carbonique, en faisant passer un courant de ce gaz dans la partie supérieure du flacon, etc. Ces dernières opérations, répétées plusieurs fois dans l'espace de quelques heures, éliminent tout l'air (oxygène et azote) renfermé dans la terre.

Cela fait, on prend un flacon bouché à l'émeri, de 400 centimètres cubes; on en déplace l'air par du gaz carbonique pur, puis on remplit exactement le flacon avec la terre précédente, en abouchant les deux cols des flacons et sans la mettre en contact avec l'air. Le flacon lui-même est fermé avec un bouchon enduit d'une très légère couche de vaseline; ce qui constitue une clôture absolue. On vérifie avec soin et *de visu* la continuité de cette couche.

Toutes ces opérations s'effectuent au sein d'une atmosphère de gaz carbonique, maintenue et renouvelée à l'aide d'un courant de ce gaz. Puis on abandonne le flacon à lui-même sur une table.

Dans ces conditions, il est clair que la richesse de la terre en azote doit demeurer invariable pendant sa conservation : les différences que l'on observera paraissant devoir être attribuées essentiellement aux erreurs des analyses et à la variation possible des conditions de ces dernières, entre les deux époques des déterminations.

Les terres ont été ainsi mises en flacon, après analyse initiale, le 22 mai 1888, et elles ont été analysées de nouveau le 3 octobre 1888 : soit quatre mois et demi après. Cette période répondait à celle de nos analyses, effectuées simultanément sur des terres naturelles, abandon-

nées à elles-mêmes, avec ou sans le concours de la végétation supérieure.

Voici les résultats observés :

I. *Terre de l'enclos.* — C'est la terre la plus pauvre en azote; c'est aussi celle qui offre l'aptitude la plus marquée à en fixer, lorsqu'elle est placée dans des conditions appropriées. Au sein de nos flacons, où cette fixation est impossible, on a trouvé :

État initial : pour 1 kilogramme de terre supposée sèche (110°) :

Azote : État initial........................... 0gr,974

Ce nombre est la moyenne de plusieurs analyses, ne s'écartant pas individuellement de plus de 1 centième de ladite moyenne; observation qui s'applique pareillement à l'état initial des deux terres suivantes.

Azote : État final : 0gr,994 et 0gr,978; moyenne. 0gr,986

On voit que la composition initiale s'est retrouvée exactement à la fin de l'expérience, à 1 centième près.

II. *Terre de la terrasse.* — On a trouvé, pour 1 kilogramme (supposé sec), comme moyenne de plusieurs analyses concordantes :

	gr.
État initial..	1,6551
État final : 1gr,6578 et 1gr,6528; moyenne........	1,6552

Il y a concordance parfaite.

III. *Terre du parc.* — Cette terre est à peu près deux fois aussi riche en azote que la terre (I); aussi a-t-elle manifesté peu de tendance à en fixer une nouvelle dose dans la plupart des autres expériences : elle tendrait plutôt à en perdre.

Dans nos flacons, où les conditions ne varient pas, on a trouvé :

		gr.
Azote :	État initial..............................	1,744
—	État final : 1gr,7789 et 1gr,7736; moyenne.	1,776

Ici l'écart n'atteint pas deux centièmes.

On voit par ces chiffres quel est le degré de concordance que l'on peut attendre de la méthode de la chaux sodée, appliquée par des opérateurs exercés et soigneux sur des terres rendues homogènes par un mélange convenable; et par suite quel degré de confiance on doit attribuer aux dosages effectués sur ces terres, soumises aux diverses influences susceptibles de leur faire perdre ou gagner de l'azote.

2. Expériences sur le dosage de l'azote dans la terre végétale, en présence et en l'absence des nitrates (1).

Le dosage de l'azote dans la terre végétale offre quelque difficulté, au moins apparente, lorsque la terre contient des nitrates. En effet, les nitrates purs ne sont pas changés en ammoniaque lorsqu'on les chauffe avec la chaux sodée ; mais en présence des matières organiques, ils éprouvent une transformation partielle et incomplète. De là les divers artifices proposés pour doser l'azote total ; par exemple : Le procédé Dumas, le plus rigoureux en principe, puisqu'il dose l'élément isolé; mais il tend d'ordinaire à fournir des chiffres un peu plus forts;

Le procédé qui consiste à détruire les nitrates au moyen du protochlorure de fer, puis à évaporer à sec et à traiter

(1) En commun avec M. André.

le résidu par la chaux sodée, procédé d'une exécution compliquée et peu sûre ;

Le procédé fondé sur l'addition de l'hyposulfite de soude *hydraté*, procédé que la grande quantité d'eau en présence de laquelle on opère rend d'une exécution fort pénible ;

Le procédé Kjeldahl, fondé sur l'emploi de l'acide sulfurique et du mercure, fort commode et fort usité aujourd'hui, mais qui donne lieu à des corrections assez considérables, etc.

La multiplicité de ces procédés montre la difficulté du problème. Nous avons constaté que l'on peut se dispenser de recourir à ces divers artifices, lorsqu'on a pour objet unique de doser l'azote par la chaux sodée dans une terre végétale proprement dite, à la condition de lessiver au préalable la terre avec quatre fois son poids d'eau pure et froide, de façon à l'épuiser de nitrates. En effet, l'eau n'enlève à la terre ordinaire, dans ces conditions et d'après les déterminations directes que nous avons publiées sur ce point (1), que quelques milligrammes d'azote organique par kilogramme, quantité inférieure aux limites d'analyse du dosage de l'azote. En fait, lorsque la terre est pauvre en nitrates, le dosage de l'azote, avant et après un lessivage fait à froid, fournit des résultats sensiblement identiques.

Pour le prouver, voici des nombres, rapportés à 1 kilogramme de terre séchée à 110 degrés :

(1) *Annales de chimie*, 6e série, t. XI, p. 370. Pour 1 kilogramme d'une terre analogue à celle de l'enclos, en la traitant à froid par l'eau pure, on a trouvé :

	gr.
Azote nitrique	0,0035
Azote ammoniacal réel	0,0017
Azote amidé soluble	0,0083

I. Terre végétale de l'enclos, ayant servi à la végétation du Lupin :

	gr.
Dosage d'azote, sans aucun traitement préliminaire (2 analyses)	1,078
Azote nitrique	0,008
Dosage d'azote après lessivage à froid (2 analyses).	1,072

Il y a concordance à un demi-centième près.

II. Terre végétale de la terrasse, maintenue sous cloche avec de l'air pendant deux mois :

	gr.
Dosage d'azote sans traitement par l'eau (2 analyses)	1,691
Azote nitrique	0,036
Dosage d'azote après lessivage à froid (2 analyses).	1,689

Il y a concordance à moins de deux millièmes près.

III. Terre végétale du parc :

Dosage d'azote sans traitement par l'eau (3 analyses)	1,744
Azote nitrique	0,0168
Dosage d'azote après lessivage à froid (2 analyses).	1,725

Il y a concordance à un centième près.

IV. La même terre, deux mois après, ayant servi à une expérience de végétation sur le Lupin, dans une cloche hermétiquement close :

	gr.
Dosage initial d'azote : 1,907, 1,887, 1,887 ; moyenne.	1,890
Azote nitrique	0,035
Dosage d'azote après lessivage à froid (2 analyses).	1,879

Il y a concordance à un demi-centième près environ.

On voit par ces résultats que, dans une terre pauvre en nitrates, le dosage de l'azote par la chaux sodée peut être exécuté du premier coup avec sécurité. Dans une terre même riche, on peut éliminer aussi d'abord les nitrates par des lavages, pourvu qu'elle ne contienne pas de composés azotés solubles : ce qui est le cas des terres qui ne sont pas en état de fermentation ammoniacale, comme le sont au contraire fréquemment les terreaux proprement dits.

3. Comparaison entre les dosages d'azote faits par le procédé Dumas et par le procédé de la chaux sodée, au point de vue des variations de cet élément.

Nous avons donné ailleurs (1) la comparaison entre les dosages absolus d'azote faits par ces deux procédés, comparaison qui tend à établir, d'accord avec la plupart des analystes, que les deux méthodes appliquées à la terre végétale donnent des résultats concordants, à quelques centièmes près du poids de l'azote. Le procédé Dumas a seulement une certaine tendance à fournir des chiffres un peu forts, sans doute à cause de la difficulté d'enlever les dernières traces d'air contenues dans les matières poreuses, matières que l'on ne peut guère chauffer, dans le cas présent, sans s'exposer à les décomposer partiellement.

Voici maintenant les observations spéciales et comparatives que nous avons cru utile de faire sur les variations de l'azote dans une même terre, soumise à certains traitements.

I. — *Terre de l'enclos.*

État initial. — Deux dosages par la chaux sodée, à la fin du mois d'avril 1888, ont donné, pour 1 kilogramme de terre sèche :

Azote... 0,9743 et 0,9743 Moyenne... 0,9743

État final. — Au mois d'août 1888, $3^{kgr},500$ de cette terre ayant été conservés dans un pot de porcelaine (pot n° 40), à l'air libre sous un abri, on a obtenu par la même méthode, pour 1 kilogramme de terre supposée sèche :

Azote... 1,1071 et 1,1020 Moyenne... $1^{gr},1046$

(1) Ce volume, p. 23.

L'accroissement de l'azote dans la terre s'élevait donc, d'après la méthode de la chaux sodée, à

$$1,1046 - 0,9743 = 0^{gr},1303,$$

soit 13,4 centièmes; dose considérable et qui surpasse de beaucoup les erreurs possibles.

La même terre a été analysée par le procédé Dumas. A la fin d'avril 1888, on a trouvé par ce procédé, pour 1 kilogramme supposé sec :

Azote initial .... $1^{gr},0250$

Au mois d'août 1888, sur la terre du pot n° 40, on a trouvé par le même procédé :

Azote final.......................... $1^{gr},1600$

L'accroissement de l'azote s'élève donc, d'après la méthode Dumas, à

$$1,1600 - 1,0250 = 0^{gr},1350,$$

soit 13,2 centièmes.

C'est sensiblement le même accroissement relatif que d'après le procédé par la chaux sodée.

L'accroissement de la dose d'azote dans la terre est donc établi pareillement et fixé à la même dose, d'après les deux procédés. Nous pourrions citer un grand nombre de déterminations analogues, lesquelles s'accordent toutes à établir la même conclusion, d'après les analyses multipliées que nous avons exécutées depuis six ans. Mais l'exemple précédent, exécuté spécialement pour vérifier la valeur comparative des méthodes, au point de vue des variations de l'azote observées, nous paraît démonstratif.

CHAPITRE IX

EXPÉRIENCES FAITES SUR LA TERRE NUE, POUR ÉTUDIER LA FIXATION DE L'AZOTE

Voici la liste des expériences faites sur la terre végétale nue, c'est-à-dire privée de végétaux supérieurs, dans des conditions distinctes, telles que : en vase clos, à l'air libre sous un abri transparent, condition où la pluie est exclue, et à l'air libre sans aucun abri, condition où la terre reçoit librement la pluie. Ces expériences font suite à celles que j'ai déjà publiées dans le présent volume. On a opéré séparément sur les trois échantillons de terre végétale définis plus haut, p. 174-176 :

I. Pot n° 53. — Sous une cloche fermée par un plan de verre bien luté. — Terre de l'enclos.

II. Pot n° 70. — Sous cloche. Terre de la terrasse.

III. Pot n° 36. — Sous cloche. Terre du parc.

IV. Pot n° 39. — Air libre, sous abri. Terre de l'enclos.

V. Pot n° 56. — Air libre, sous abri. Terre de la terrasse.

VI. Pot n° 22. — Air libre, sous abri. Terre du parc.

VII. Pot n° 46. — Air libre, sans abri. Terre de l'enclos.

VIII. Pot n° 63. — Air libre, sans abri. Terre de la terrasse

IX. Pot n° 29. — Air libre, sans abri. Terre du parc.

X. On a exécuté, en outre, une série systématique d'essais sur les mêmes terres additionnées d'eau, broyées au préalable avec certains tubercules recueillis sur les racines du Lupin, tubercules qui sont réputés avoir une action spécifique pour

la fixation de l'azote par les Légumineuses. Sans vouloir rien préjuger sur ce qui se passe avec le concours de la végétation, on se bornera à dire ici que la matière de ces tubercules n'a pas paru exercer une influence spéciale sur la fixation de l'azote par la terre végétale nue, soit pour l'accélérer, soit pour l'entraver; probablement parce que la terre mise en expérience renfermait déjà les microbes fixateurs d'azote.

XI. Une série spéciale d'expériences a été exécutée pour vérifier si une terre déterminée, de l'ordre de celle que nous mettons en œuvre, c'est-à-dire *destituée de propriétés acides*, est susceptible de s'enrichir, à la longue, en ammoniaque, au contact de l'air et sous l'influence des traces de cet alcali que renferme l'atmosphère naturelle, comme on l'a pensé quelquefois. Cette série, de même que nos expériences précédentes sur la même question, a conduit à une conclusion négative ; les résultats ayant été nuls ou insignifiants.

Au contraire, dans les expériences faites sur les terres végétales nues, on a observé en général la fixation de l'azote ; cette fixation étant particulièrement marquée avec la terre de l'enclos, la plus pauvre en azote et la plus apte à en fixer. Elle s'effectue également en vase clos, c'est-à-dire dans l'intérieur d'une cloche, et au contact de l'air libre sous abri : ce qui montre que les apports dus soit aux chutes d'eaux météoriques, soit aux échanges entre les composés organiques du sol et les composés azotés gazeux de l'atmosphère, ne sauraient jouer qu'un faible rôle dans cette fixation ; à supposer même que les actions atmosphériques de cet ordre ne tendent pas, au contraire, à abaisser la dose de l'azote combiné dans le sol, d'une part par les exhalaisons d'ammoniaque qui se font aux dépens du sol végétal, particulièrement s'il contient du carbonate de chaux (1), et, d'autre part, par les élimina-

(1) Ce volume, p. 160 et suivantes.

tions de nitrates entraînés dans les eaux du drainage (1).

Les conditions générales qui sont nécessaires pour que cette fixation d'azote libre ait lieu, telles que :

Circulation lente de l'oxygène dans un sol poreux, mais non absolument pulvérisé, ni soumis à une oxydation excessive, de l'ordre de celle qui active la nitrification ;

Présence d'une dose d'eau limitée ;

Température supérieure à 10°, mais inférieure à 40° ;

Existence dans la terre d'une dose d'azote limitée et n'appartenant pas à des matières organiques soumises soit à une putréfaction, soit à une fermentation ammoniacale, ou même réductrice, etc. ;

Enfin, existence de certains microbes spécifiques ; ces conditions, dis-je, ont été établies dans les précédents chapitres (2). Sans y revenir en détail, je fournirai cependant divers faits nouveaux qui précisent ces conditions et en signalent en même temps quelques autres. Le fait fondamental de l'absorption de l'azote par certaines terres végétales prendra ainsi un caractère de plus en plus net et démonstratif.

Entrons dans le détail.

A. — En vase clos, sous cloche

I. — *Pot n° 53. Sous cloche. Terre de l'enclos.*

Voici la disposition de l'expérience (*fig.* 1).

On prend une cloche de verre, de 45 litres environ (3),

(1) Ce volume, p. 147.
(2) Voir notamment ce volume, p. 128 et suivantes.
(3) J'ai fait exécuter en fabrique, sur des dessins exprès, les cloches, pots et vases divers, destinés à l'ensemble de ces expériences.

munie d'une tubulure à sa partie supérieure, rodée et dressée avec soin à sa partie inférieure, de façon à en permettre l'ajustement exact sur une grande plaque de verre plane, dépolie.

La tubulure est fermée par un gros bouchon de caoutchouc, percé de trous, que l'on obture pour l'expérience actuelle ;

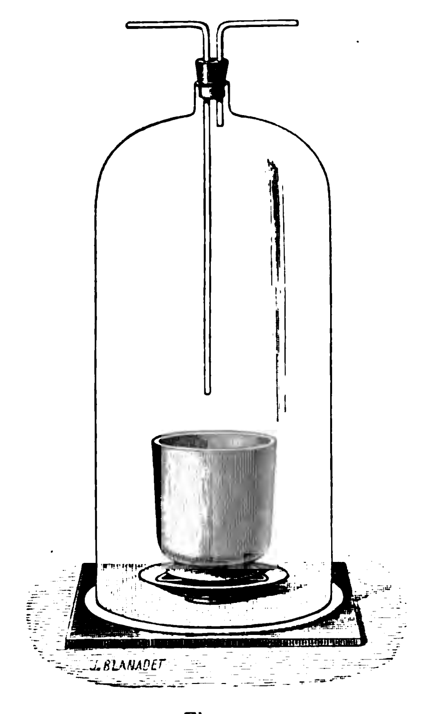


Fig. 1.

mais ils sont susceptibles de recevoir des tubes de verre dans d'autres expériences.

Dans l'intérieur de la cloche, on place une assiette creuse, et au fond de l'assiette un triangle de verre, sur lequel repose un pot de porcelaine vernie, d'un diamètre égal à 19 centimètres environ à sa partie supérieure ; la surface horizontale en haut du pot a été en moyenne de 282 centimètres

carrés, dans le plus grand nombre des expériences, notamment celles qui ont été exécutées avec 3 à 3^{kg},5 de terre. Quand on a opéré sur des doses moindres, telles que 2 kilogrammes ou même 1 kilogramme, on a pris d'ordinaire des pots analogues, mais plus petits. La surface horizontale de ces pots a été mesurée chaque fois, et c'est à elle que se rapporteront les comparaisons.

Le pot renferme la terre mise en expérience. Quand il est ajusté, on pose la cloche au-dessus, après avoir enduit le bord inférieur de celle-ci avec une couche légère de vaseline, ou de suif. On l'applique sur la plaque de verre; on complète et l'on régularise extérieurement avec le doigt la couche de vaseline, et l'on obtient une clôture parfaite, susceptible de se maintenir pendant toute la durée de l'expérience.

Dans le cours de certaines expériences, particulièrement si l'on opère avec une terre trop humide, ou bien avec des plantes susceptibles d'être arrosées par la tubulure d'en haut, il arrive que l'eau du pot s'évapore en partie et vient se condenser en ruisselant sur les parois. L'eau qui descend ainsi sur le plateau de verre est exposée ensuite à suinter à l'extérieur à travers la couche de vaseline. Si cet accident a lieu, on enlève l'eau extravasée, à l'aide d'un papier buvard, sans soulever la cloche, et l'on rétablit avec soin la continuité de la couche de suif ou de vaseline formant clôture. Pour me mettre à l'abri de cet accident, j'ai depuis fait construire une coupe de verre à larges bords rodés, sur laquelle on ajuste la cloche (*fig.* 2). Cette coupe remplace la plaque de verre horizontale; elle permet d'arroser la plante, ce que l'on exécute à l'aide d'un pulvérisateur, ajusté sur la tubulure d'en haut. L'excès d'eau ainsi projetée, en même temps que l'eau évaporée et condensée sur les parois, se rassemble dans la coupe

inférieure. On enlève à mesure et l'on recueille ces eaux d'évaporation, à l'aide d'un robinet central.

En général, cette disposition est inutile avec la terre nue, qui ne donne pas lieu à une évaporation aussi active que les

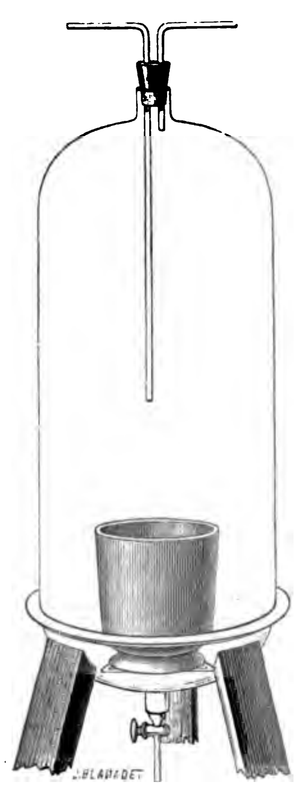


Fig. 2.

végétaux; dans ce cas, la clôture due à la vaseline demeure parfaite et ininterrompue.

Parfois cependant, il arrive que quelques petites graines demeurées en terre, à l'insu de l'expérimentateur, donnent lieu, au bout d'un certain temps, à l'apparition de plantules : dans ce cas, on soulève un instant la cloche, on arrache ces plantules et on les rejette. Le poids d'azote

ainsi perdu est insignifiant. On peut d'ailleurs en tenir compte.

Entrons maintenant dans le détail de l'expérience du pot n° 53.

Le 11 mai 1888, on a disposé un pot au sein d'une cloche, après y avoir placé $2^{kg},145$ de la terre de l'enclos, renfermant :

	kg.
Terre sèche	1,950
Eau (dix centièmes en plus)	0,195

Cette terre contenait, par kilogramme sec : $0^{gr},974$ d'azote, soit, pour le pot entier :

Azote combiné	$1^{gr},8998$

Il existait d'ailleurs dans la terre de ce pot :

Azote nitrique	$0^{gr},0122$

Enfin, la terre du pot contenait par kilogramme :

Carbone organique	$19^{gr},8$

c'est-à-dire environ 45 grammes de matière organique proprement dite ; l'azote formant à peu près les 2 centièmes de cette matière.

Le 3 juillet 1898, on a mis fin à l'expérience.

La terre a donné alors, par kilogramme sec, en azote :

	gr.
1re analyse	1,0610
2e analyse	1,0579
Moyenne	1,0599

ce qui fait, pour $1^{kg},950$:

Azote combiné	$2^{gr},0629$

On a trouvé d'ailleurs à ce moment, pour la terre totale :

Azote nitrique	$0^{gr},0391$

En définitive, il y a eu un gain d'azote combiné dans cette terre :

$$2,0629 - 1,8998 = 0^{gr},1631,$$

soit 8,6 centièmes de l'azote initial.

Ils ont été gagnés en deux mois (ou plus exactement en sept semaines) par la terre nue (sans végétaux supérieurs), dans une cloche où les traces de composés azotés contenues dans l'air ne sauraient intervenir. Ils proviennent donc de l'azote libre. Ce gain, rapporté à la surface réelle du pot mis en expérience, donnerait un bénéfice proportionnel de 87 kilogrammes par hectare en deux mois; soit près de 260 kilogrammes pour six mois, période de l'année pendant laquelle s'exerce la végétation, et pour une épaisseur de terre de 18 centimètres environ. Si on la rapportait par le calcul à une épaisseur de 45 centimètres, comme dans mes expériences précédentes faites dans de grands pots renfermant 50 kilogrammes de terre (ce volume, p. 87), on arriverait à des fixations annuelles de 650 kilogrammes. Je donne ces chiffres à titre de renseignement; mais les conditions de la culture en pots sont trop spéciales pour qu'il soit licite de les appliquer à de vastes étendues d'un sol naturel, bien qu'elles puissent s'y trouver réalisées çà et là.

Quoi qu'il en soit, ces résultats confirment les faits observés dans mes expériences précédentes, sur des sables argileux contenus dans de grands flacons fermés à l'émeri (ce volume, p. 61).

On remarquera que la nitrification a eu lieu dans la terre mise en expérience, mais faiblement; car la dose de l'azote nitrique a monté de $0^{gr},0122$ à $0^{gr},391$ par kilogramme. Cette dose ne représente qu'une fraction excessivement faible de l'azote fixé. Elle atteste pourtant que la terre s'est trouvée dans des conditions oxydantes, peu prononcées d'ailleurs, au

cours de l'expérience. Cette remarque est conforme aux faits que j'avais observés précédemment (1). Quand la terre se trouve au contraire dans des conditions réductrices, elle ne parait pas fixer d'azote; mais elle tendrait plutôt à en perdre. De même, elle n'en fixe pas quand elle nitrifie énergiquement, c'est-à-dire quand elle s'oxyde avec trop d'activité. Une oxydation trop active semble détruire la vitalité des microbes fixateurs d'azote; aussi bien que le fait pareillement une tendance à la réduction, favorable au contraire aux microbes des fermentations ammoniacales, putrides, hydrogénantes, etc. La vitalité des agents fixateurs d'azote semble surtout se développer avec le concours d'un milieu où s'exercent des actions oxydantes lentes.

II. — *Pot n° 70. Sous cloche. Terre de la terrasse.*

Mêmes dispositions, sauf que le pot était plus petit.

État initial — Le 12 mai 1888, on y a placé 1kg,034 de terre, c'est-à-dire :

	kg.
Terre sèche (à 110°)	0,940
Eau	0,094
	1,034

Cette terre contenait, pour 1 kilogramme sec,

Azote 1gr,655

c'est-à-dire dans le pot :

Azote combiné 1gr,5557

On a trouvé à ce moment, dans un poids de terre égal à celui du pot :

Azote nitrique 0gr,0204

(1) Ce volume, p. 139.

Cette terre renfermait par kilogramme :

Carbone organique.................... 22gr,3

c'est-à-dire environ 50 grammes de matière organique ; l'azote en constituant les 3 centièmes à peu près.

État final. — Le 29 juin 1888, au bout de quarante-huit jours, on a mis fin à l'expérience.

On a trouvé pour 1 kilogramme sec :

	Azote.
	gr.
	1,7078
	1,6615
	1,7078
	1,6886
Moyenne......	1,6914

ce qui fait, pour la totalité de la terre, dans le pot :

Azote combiné...................... 1gr,5889

On a trouvé d'ailleurs, à ce moment :

Azote nitrique...................... 0gr,0340

La nitrification a donc eu lieu, mais faiblement, l'azote nitrique ayant crû de 0,0204 à 0,0340; ce qui est conforme à l'observation du pot précédent.

En ce qui concerne l'azote combiné, il y a un gain égal à 1,5899 — 1,5557 = 0gr,0342, c'est-à-dire 2,2 centièmes : dose faible, qui représente seulement le quart du gain précédent. Mais il convient de remarquer que la terre mise en expérience renfermait 1gr,655 d'azote au kilogramme, dose voisine des limites auxquelles les terres de ce genre cessent d'absorber l'azote, d'après mes expériences antérieures (1).

(1) Ce volume, p. 142.

Au delà de ce terme, il y a arrêt; et si la terre devient notablement plus riche par quelque circonstance, telle que l'influence de la végétation et le mélange des détritus et exsudations organiques, ou des engrais azotés, cette terre tend au contraire, à partir de ce moment, à perdre de l'azote, ainsi que je l'ai expliqué précédemment. Cependant, dans le cas actuel et pour la richesse initiale définie plus haut, la terre avait encore gagné, en six semaines, une dose d'azote fort appréciable.

III. — *Pot n° 36. Sous cloche. Terre du parc.*

Mêmes dispositions.

État initial. — Le 11 mai 1888, on a disposé dans un pot $2^{kg},071$ de cette terre, c'est-à-dire :

	kg.
Terre sèche	1,883
Eau	0,188

Elle contenait, par kilogramme sec, $1^{gr},744$ d'azote, soit pour la totalité du pot :

Azote combiné	$3^{gr},2847$

Elle contenait d'ailleurs

Azote nitrique	$0^{gr},0316$

Cette terre contenait également par kilogramme

Carbone organique	$43^{gr},5$

c'est-à-dire 90 à 95 grammes environ de matière organique. L'azote en formait à peu près les 2 centièmes.

Le 2 juin, on a ouvert la cloche, pour arracher quelques plantules, qui ont été rejetées.

État final. — Le 3 juillet, on a mis fin à l'expérience : une légère efflorescence blanche se manifestait par places, à la surface de la terre.

On a trouvé, pour 1 kilogramme sec,

	Azote.
	gr.
	1,8120
	1,8275
Moyenne......	1,8298

c'est-à-dire, pour le contenu du pot :

Azote combiné........................ 3gr,4264

On a trouvé d'autre part :

Azote nitrique........................ 0gr,0760

La nitrification a été un peu plus active que dans les deux autres pots, la dose d'azote nitrique ayant passé de 0gr,0316 à 0gr,0760. Cependant, cet accroissement, en définitive, est minime ; il donne lieu aux mêmes remarques que ci-dessus.

Venons à l'azote combiné.

Ici encore, il y a eu gain, soit

$$3,4264 - 3,2847 = 0^{gr},1417,$$

c'est-à-dire 4,3 centièmes ; dose plus sensible que dans l'expérience du pot n° 70, mais moindre qu'avec le premier pot n° 53. Il y a donc eu gain dans tous les cas.

En définitive, les trois expériences faites sous cloche, avec trois terres végétales différentes, prises à l'état nu, ont toutes donné lieu à une fixation d'azote sur ces terres, cette fixation étant surtout marquée avec la terre la plus pauvre en azote. Ces terres étaient d'ailleurs, j'insiste sur ce point, des terres naturelles, n'ayant subi aucune manipulation chimique, telle que :

calcination, chauffage à 110° ou même à 40°, oxydation prolongée dans un milieu humide, fermentations ou pourrissage, mélange avec des terreaux ou tous autres ingrédients, etc.; ni même des manipulations physiques trop énergiques, telles que broyage prolongé en présence de l'eau, ou à sec, jusqu'à réduction en poudre impalpable, action prolongée d'une lumière vive, etc. Les microbes qu'elles renfermaient ont pu dès lors continuer à vivre et à se développer, les conditions de leur vitalité ayant été respectées.

Observons enfin que la fixation de l'azote, constatée dans les expériences précédentes, est due nécessairement à l'azote libre, attendu que l'on a opéré en vase clos dans des conditions où l'azote combiné de l'atmosphère (ammoniaque, acide nitrique, poussières, etc.) ne saurait exercer une influence appréciable.

Arrivons maintenant aux expériences faites à l'air libre. Elles sont d'autant plus significatives qu'elles ont donné lieu, comme il va être dit, à des fixations d'azote tout au plus égales, sinon moindres que les précédentes, c'est-à-dire que les fixations observées en vases clos.

B. — A L'AIR LIBRE, SOUS ABRI TRANSPARENT

IV. — *Pot n° 39. Sous abri transparent. Terre de l'enclos.*

Le pot a été placé dans une assiette, sur une table haute de un mètre, disposée elle-même sous un petit toit vitré, porté sur quatre pieds à deux mètres du sol; les quatre côtés verticaux étaient absolument libres, de façon à permettre la circulation de l'air sans aucun obstacle. Les pots étaient protégés par le toit contre la pluie, à moins que celle-ci ne fût projetée très

obliquement, ce qui n'arrivait guère. Le tout était disposé dans une prairie, dans un léger pli de terrain. Le toit protégeait les pots, non seulement contre la pluie, mais aussi contre la radiation du soleil direct; du moins aux heures où le soleil se rapprochait du zénith, vers le milieu de la journée.

Voici les données observées dans ces conditions:

État initial. — Le 11 mai 1888, on a disposé dans ce pot 2kg,145 de la terre de l'enclos, c'est-à-dire :

	kg.
Terre sèche (110°)	1,950
Eau	0,195
	2,145

Elle contenait, par kilogramme sec, 0gr,9743 d'azote ; c'est-à-dire, pour la totalité de la terre du pot :

Azote combiné	1gr,8998

On a trouvé d'autre part :

Azote nitrique	0gr,0122

Il y avait environ 45 grammes de matière organique par kilogramme.

On a arrosé cette terre les jours secs, chaque fois avec 100 centimètres cubes d'eau distillée : les arrosages ont apporté en tout, d'après dosages séparés opérés sur l'eau employée aux arrosages, pendant deux mois et demi :

Azote ammoniacal	0gr,0015

On a pris soin d'empêcher tout développement de végétation, en arrachant à mesure les quelques plantules qui se sont manifestées.

État final. — Le 27 juillet, on a mis fin à l'expérience, qui

[illegible]

[illegible] que celui observé [illegible] avec la même terre, maintenue en vase clos, pendant le même espace de temps et la même saison. Il est même un peu moindre : ce qui montre bien que le gain [illegible] sur la terre nue, — avec cette nature de terre du moins, — n'est pas attribuable à l'absorption de l'ammoniaque ou de tout autre composé azoté apporté par l'atmosphère (voir p. 161-167).

Je rappellerai d'ailleurs que cette terre renferme une dose notable de carbonates, dose équivalente à 23gr,06 d'acide

carbonique, c'est-à-dire à 52gr,3 de carbonate de chaux. En présence de ce carbonate de chaux, les sels ammoniacaux, si la terre en contenait, seraient décomposés et ils tendraient à exhaler leur ammoniaque dans l'atmosphère, plutôt qu'à en laisser absorber une partie par la terre (1).

V. — *Pot nº 56. Sous abri transparent.* *Terre de la terrasse.*

Ce pot a été placé à côté du précédent, sur la même table.

État initial. — Le 12 mai, on y a introduit 1kg,999 de terre contenant :

	kg.
Terre sèche	1,817
Eau	0,182
	1,999

Elle renfermait par kilogramme sec : 1gr,6551 d'azote ; c'est-à-dire pour le pot entier :

Azote combiné 3gr,1132

On a trouvé d'ailleurs

Azote nitrique 0gr,0410

Il y avait encore 50 grammes de matière organique pour 1 kilogramme de cette terre (supposée sèche).

Elle a été arrosée exactement comme la précédente, avec les mêmes quantités de la même eau distillée, renfermant en totalité :

Azote ammoniacal 0gr,0015

Tout développement de végétation supérieure a été empêché, ou supprimé dès son début.

(1) Ce volume, p. 163.

On a mis fin à l'expérience le 30 juillet; elle avait duré 79 jours.

État final. — La terre a donné alors, pour 1 kilogramme sec, en azote :

	gr.
	1,7510
	1,7510
Moyenne......	1,7510

c'est-à-dire pour le pot entier :

Azote.................................. 3gr,2936

On a trouvé d'autre part :

Azote nitrique........................ 0gr,0481

L'azote nitrique a très peu varié, quoiqu'il se soit légèrement accru : soit depuis 2gr,0410 jusqu'à 0gr,0481.

En azote total, le gain était, en définitive :

$$3,2936 - 3,1132 - 0,0015 = 0^{gr},1789,$$

c'est-à-dire 5,8 centièmes.

Ce gain est supérieur à celui qui a été observé en vase clos avec la même terre (2,2 centièmes); mais inférieur à celui de la terre de l'enclos observée sous cloche (8,6 centièmes), ou à l'air libre (7,3 centièmes); en tout cas, ces gains sont du même ordre.

VI. — *Pot n° 22. Sous abri transparent. Terre du parc.*

Ce pot a été placé à côté des deux précédents.

État initial. — Le 11 mai, on y a introduit 2kg,071 de terre contenant :

	kg.
Terre sèche............................	1,883
Eau....................................	0,188
	2,071

Elle renfermait par kilogramme sec : 1gr,7444 d'azote ; c'est-à-dire pour le pot entier :

Azote combiné..................... 3gr,2847

On a trouvé d'ailleurs :

Azote nitrique....................... 0gr,0326

Il y avait environ 90 grammes de matière organique par kilogramme.

On a opéré comme avec les deux pots précédents, et l'on a arrosé de même avec de l'eau distillée, contenant 0gr,0015 d'azote ammoniacal.

Le 25 juillet, on a arrêté l'expérience.

État final. — La terre a donné alors, pour 1 kilogramme sec, en azote :

	gr.
	1,8434
	1,8588
Moyenne......	1,8511

Ce qui fait pour le pot entier :

Azote combiné....................... 3gr,4856

On a trouvé d'autre part :

Azote nitrique....................... 0gr,0448

Il y a donc eu une légère nitrification.

Le gain en azote combiné est le suivant :

$$3,4856 - 3,2847 - 0,0015 = 0^{gr},1994,$$

c'est-à-dire 6,1 centièmes.

Ce chiffre ne s'écarte guère de celui qui a été observé sous cloche, avec la même terre (4,2 centièmes). Il diffère également peu des nombres observés avec la terre de l'enclos, soit

en vase clos (8,6 centièmes), soit à l'air libre (7,3 centièmes). On peut remarquer ici que les fixations d'azote semblent s'effectuer un peu mieux avec la terre du parc qu'avec la terre de la terrasse; bien que ces deux terres aient à peu près la même richesse initiale en azote ($1^{gr},655$ et $1^{gr},744$ par kilogr.). Mais il convient d'observer que la terre du parc, qui fixe un peu mieux l'azote, est beaucoup plus riche en matière organique (90 grammes environ) que la terre de la terrasse (50 grammes environ). Ceci pourrait correspondre à une vitalité supérieure, ou à un nombre plus grand de microbes, dans la première de ces terres.

C. — A L'AIR LIBRE, SANS ABRI

VII. — *Pot n° 46. Sans abri. Terre de l'enclos.*

Ce pot a été placé sur une table, disposée en plein air, à côté du petit toit vitré qui abritait les pots de la série précédente (*fig.* 3). Il était, par conséquent, exposé à l'action directe du soleil et de la pluie. Pour récolter les eaux excédantes, résultant des pluies surabondantes, on a pris soin de disposer le trou central de la paroi inférieure du pot au-dessus d'un petit entonnoir dont le bec traversait un trou foré dans la planche de la table. Au-dessous, un flacon recueillait les eaux de drainage qui avaient traversé la terre du pot, en entraînant les nitrates et autres substances solubles. Après chaque forte pluie, on recueillait ces eaux, s'il y avait lieu. Si la proportion en était minime, on les reversait sur la terre du pot, comme arrosage. Si elles étaient très abondantes, on les mettait à part et l'on y dosait les nitrates : ce qui n'est arrivé qu'une seule fois, à la suite d'un violent orage.

Pendant les périodes de sécheresse, on prenait soin d'arro-

ser le pot disposé en plein air, avec de l'eau distillée, simultanément avec les pots placés sous abri ; on employait 100 centimètres cubes d'eau chaque fois. L'ammoniaque de l'eau d'arrosage a été dosée, comme précédemment.

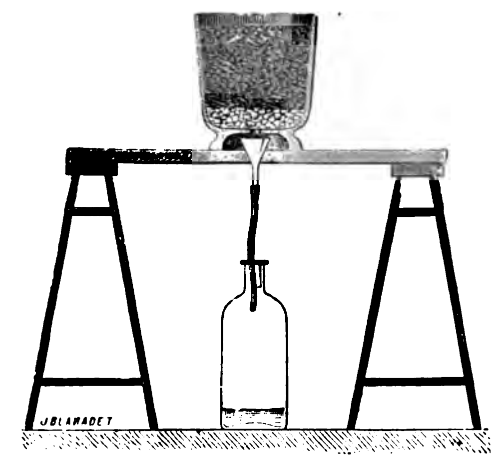


Fig. 3.

On a d'ailleurs récolté l'eau de pluie dans un udomètre juxtaposé, de surface connue, et l'on y a dosé l'azote sous ses diverses formes.

Voici les résultats relatifs à ce pot.

État initial. — On y a introduit, le 11 mai 1888, 2145 grammes de terre, soit :

	kg.
Terre sèche (à 110°)	1,950
Eau	0,195
	2,145

Cette terre contenait, pour 1 kilogramme sec : $0^{gr},974$ d'azote, c'est-à-dire pour le pot entier :

Azote combiné	$1^{gr},8998$

On a trouvé d'ailleurs :

Azote nitrique	$0^{gr},0122$

Matière organique, environ 45 grammes par kilogramme.

On a pris soin d'empêcher tout développement de végétation supérieure, pendant le cours de l'expérience.

L'eau d'arrosage employée contenait :

Azote 0gr,0015

L'eau de pluie tombée sur la surface du pot renfermait :

Azote combiné (ammoniacal, nitrique, organique)..... 0gr,0108

L'azote fourni au système s'élevait donc, en tout, à :

	gr.
Azote initial	1,8998
Eau d'arrosage	0,0015
Eau de pluie	0,0108
	1,9121

Le 27 juillet, on a mis fin à l'expérience.

État final. — La terre a donné alors, pour un kilogramme :

	gr.
Azote	1,0589
	1,0536
Moyenne	1,0562

ce qui fait pour le pot total :

Azote combiné....................... 2gr,0595

On a trouvé d'autre part :

Azote nitrique...................... 0gr,0075

A la fin de juin, on avait récolté une eau de drainage contenant :

Azote nitrique...................... 0gr,0197

L'azote total à la fin est donc 2gr,0792, et l'azote nitrique total, 0gr,0272.

Le gain en azote combiné est dès lors

$$2,0792 - 1,9121 = 0^{gr},1671,$$

c'est-à-dire 8,8 centièmes.

C'est très sensiblement le même chiffre que le gain observé sous cloche avec la même terre (8,6 centièmes). On voit que les apports atmosphériques influent peu sur l'enrichissement de cette terre en azote. On remarquera en effet que les apports dus à la pluie et à l'arrosage s'élevaient seulement à $0^{gr},0123$, c'est-à-dire à 6 millièmes seulement : soit 1/14 du gain réel.

Remarquons encore que le drainage seul a enlevé à la terre, en un seul jour, $0^{gr},0197$ d'azote nitrique, c'est-à-dire une dose supérieure aux apports dus à la pluie pendant la saison entière. Quant aux apports attribuables à l'ammoniaque atmosphérique gazeuse, ils demeurent hypothétiques ; car il est inutile de les invoquer pour rendre compte des phénomènes, le gain de la même terre sous cloche (8,6 centièmes) étant le même qu'à l'air libre (p. 197).

Enfin, la nitrification de la terre a été faible, aussi bien à l'air libre que sous cloche ; car l'azote nitrique s'est élevé seulement de $0^{gr},0122$ à $0^{gr},0272$, et la majeure partie de cet accroissement de l'azote des nitrates a été entraînée par les eaux de drainage, conformément à ce que j'ai eu occasion d'exposer précédemment (*voir* ce volume, p. 147).

On voit combien est instructive la discussion détaillée de ces résultats.

Avant d'aller plus loin, donnons le tableau des analyses de l'eau de pluie en 1888, tableau d'après lequel certaines corrections signalées ci-dessus ont été exécutées.

Surface de l'udomètre......... 706 centimètres carrés.

Dates.	Quantité d'eau recueillie.	AzH^3 calculé en Az.	AzO^5 calculé en azote.
	c.c.	gr.	
16 mai....	500	0,0003	(1)
19 —	1350	0,0005	(1)
29 —	265	0,0025	(1)
9 juin....	300 env.	perdus par accident.	
14 —	1035	0,0058	(1)
21 —	550	0,0096	(1)
24 — (violent orage)...	4330	0,0047	0gr,0011
25-30 —	965	0,0006	(1)
1er-6 juillet..............	1505	0,0006	(1)
7-8 —	500	0,0008	(1)
23 —	1025	0,0003	(2)
30 juillet-1er août.......	1300	0,0061	(2)
6 août...............	650	0,0017	(2)
18 —	1540	0,0018	(2)
27 —	1350	0,0007	(2)
8 septembre..........	200	0,0001	(3)
35 —	1560	0,0020	(3)
29 sept. au 2 oct.......	960	0,00017	(3)
2 oct. au 16 oct........	605	0,00045	(3)

Azote ammoniacal total.................... 0gr,03872
Azote nitrique total........................ 0gr,00251

L'azote combiné, fourni par l'eau de pluie, était donc égal à 0gr,04123, pour une surface de 706 centimètres carrés, et en négligeant l'azote organique, lequel pourrait être évalué à 0gr,003 environ. Cela fait pour une surface de 282 centimètres carrés : 0gr,0165, pour la durée totale de la récolte de ces eaux de pluie. Mais cette période ne s'applique pas à tous nos pots, la plupart de ceux-ci n'ayant été exposés à la pluie que pendant une durée moindre et diverse pour chacun d'eux. En outre, la surface horizontale des pots a été différente, suivant

(1) Les liqueurs ayant servi à l'extraction de l'ammoniaque, par ébullition avec la magnésie, ont été mises à part et réunies. Elles ont fourni en tout : 0gr,0008 d'azote nitrique.

(2) Même observation pour cette nouvelle série, qui a fourni : 0gr,0002; d'azote nitrique.

(3) Même observation : azote nitrique, 0gr,00037.

la dose de terre qu'ils renfermaient. Les corrections qui vont suivre ont été faites pour la période réelle de la culture de chaque pot et pour sa surface horizontale réelle.

VIII. — *Pot n° 63. Sans abri. Terre de la terrasse.*

Mêmes dispositions que pour le pot n° 46, à côté duquel le pot n° 63 a été placé.

État initial. — Le 12 mai, on y a introduit 1^kg^,999 de terre, renfermant :

	kg.
Terre sèche	1,817
Eau	0,182
	1,999

Cette terre contenait, pour 1 kilogramme, 1^gr^,655 d'azote, soit pour la totalité du pot :

Azote combiné .... 3^gr^,1132

On a trouvé d'ailleurs :

Azote nitrique .... 0^gr^,0410

La terre contenait : matière organique, 50 grammes environ par kilogramme.

Elle a reçu, pendant le cours de l'expérience, de l'eau de pluie, contenant :

Azote .... 0^gr^,0108

et de l'eau d'arrosage, contenant :

Azote .... 0^gr^,0015

Ce qui fait pour l'azote total fourni au système :

Azote .... 3^gr^,1255

État final. — Le 30 juillet, on a mis fin à l'expérience. La terre renfermait alors en azote : pour 1 kilogramme (sec), d'après analyses :

	gr.
Azote	1,8194
»	1,8042
Moyenne	1,8118

Ce qui fait pour le pot entier :

Azote combiné	3gr,4079

On a trouvé d'autre part :

Azote nitrique	0gr,0059

Les eaux de drainage obtenues à la suite des pluies ont été reversées à mesure sur le pot, dans cette expérience.

Le gain en azote combiné est

$$3,4079 - 3,1132 - 0,0123 = 0^{gr},2824,$$

c'est-à-dire 9,1 centièmes.

Ce chiffre surpasse de moitié le chiffre observé sous abri avec la même terre (5,8 centièmes). Il est sensiblement le même que pour la terre de l'enclos, soit à l'air libre, soit sous cloche (8,6 centièmes). On en a déduit d'ailleurs la très petite fraction attribuable aux apports de la pluie et de l'arrosage (0gr,0123). L'ammoniaque gazeuse de l'atmosphère ne peut guère être invoquée ici, le gain étant le même à l'air libre que sous cloche.

Quant à la nitrification, il semble qu'elle n'a pas eu lieu, l'azote nitrique ayant baissé dans cette terre, sans en disparaître cependant tout à fait : ce qui montre que le milieu n'était pas absolument réducteur. En réalité, il y a eu là un effet de compensation, attendu que les eaux de drainage,

riches en nitrates, ont été reversées à mesure sur cette terre : les nitrates qui se trouvaient contenus dans ces eaux ont dû être retransformés en matières azotées dans le sol, ainsi que j'ai eu occasion de l'observer dans d'autres circonstances.

IX. — *Pot n° 29. Sans abri. Terre du parc.*

Mêmes dispositions que pour les deux pots précédents.

État initial. — Le 11 mai, on a introduit dans ce pot 2kg,001 de terre, contenant :

	kg.
Terre sèche	1,817
Eau	0,184
	2,001

Cette terre renfermait, pour 1 kilogramme sec : 1gr,744 d'azote ; soit pour le pot entier :

Azote combiné	3gr,2847

On a trouvé d'ailleurs ;

Azote nitrique	0gr,0326

La matière organique, par kilogramme, était de 90 grammes environ.

Le pot a reçu de l'eau d'arrosage, renfermant :

Azote ammoniacal	0gr,0015

et de l'eau de pluie, renfermant :

Azote combiné (ammoniacal, nitrique, etc.)	0gr,0108
	0gr,0123

ce qui fait pour l'azote total combiné, fourni au système 3gr,297.

Toute végétation supérieure, commençante et accidentelle, a été supprimée aussitôt.

Les eaux de drainage ont été reversées à mesure sur le pot.

État final. — Le 25 juillet, on a mis fin à l'expérience. La terre contenait alors, pour 1 kilogramme (sec), d'après analyses :

	gr.
Azote	1,7481
»	1,8105
Moyenne..........	1,7793

soit pour la totalité du pot :

Azote combiné...................... 3gr,3514

On a trouvé d'autre part :

Azote nitrique...................... 0gr,0117

Le gain en azote est, d'après ces nombres,

$$3,3514 - 3,2970 = 0^{gr},0544,$$

c'est-à-dire 1,7 centième. C'est le plus faible des nombres observés. Cependant, il y a toujours gain, quoique moindre que le gain observé sous cloche (4,3 centièmes) et sous abri (6,1 centièmes), avec la même terre.

Ceci montre qu'il est difficile de mettre une même terre dans des conditions absolument semblables. On ne dispose en effet, dans ces essais, que des conditions extérieures; quant aux évolutions intérieures d'êtres vivants, microbes et ferments, qui peuvent se développer au sein d'une terre, qu'ils soient préexistants ou bien apportés par la pluie ou par les poussières de l'air, il n'est pas possible, dans l'état présent de nos connaissances, d'en garantir l'identité. C'est ce que montrent également les observations relatives aux

nitrates, dont la dose a sensiblement diminué dans la terre présente. Mais les conclusions générales ne sont pas atteintes par ces remarques.

X. — *Expériences relatives à l'action des tubercules des racines de Légumineuses sur la terre nue.*

Donnons maintenant les expériences faites avec les tubercules des racines de lupin, en vue de tenter d'ensemencer la terre de microbes avec le contenu de ces tubercules. On sait, en effet, que l'on a reconnu dans ces derniers temps que les racines de certaines Légumineuses, telles que le lupin, le trèfle, la vesce, etc., tendent à se couvrir par places de tubercules d'un aspect particulier, surtout lorsque la végétation de la plante est en pleine activité ; les études de MM. Hellriegel et Willfarth, en Allemagne (1), puis celles de M. Bréal (2), au Muséum de Paris, ont montré que ces tubercules jouent un rôle essentiel dans la fixation de l'azote effectuée avec le concours des Légumineuses.

Je me suis demandé si les bactéries, ou autres microbes, qu'ils renferment n'auraient pas la propriété d'accélérer la fixation de l'azote par le sol ; à supposer que ces microbes fussent différents de ceux que renferme déjà le sol naturel, ce qui n'est pas établi. Voici les expériences exécutées dans cette direction.

État initial. — On a pris, le 23 juin 1888, 143 tubercules provenant des racines de douze pieds de lupin, vigoureux et développés en pleine terre ; on les a broyés à froid avec

(1) *Voir* le résumé de ces études dans les *Annales agronomiques*, t. XII, p. 521 ; t. XIII, p. 330 ; t. XIV, p. 231, et surtout leur exposé complet dans les *Untersuchungen über die Stickstoffnarung der Gramineen und Leguminosen*. Berlin, novembre 1888.

(2) *Annales agronomiques*, t. XIV, p. 481.

50 centimètres carrés d'eau ; on a passé le produit à travers un linge, pour séparer les parties les plus grossières. 20 centimètres carrés du liquide trouble ainsi obtenu ont été évaporés à sec rapidement, au bain-marie, et l'on a dosé dans le produit l'azote par la chaux sodée. Ce qui a fourni

Azote = 0gr,0048.

Cela fait, on a pris 12 échantillons de terre, préparés comme il va être dit ; on a prélevé un poids de chaque échantillon, contenant 100 grammes de terre supposée sèche, et un poids d'eau compris entre 7 et 10 grammes. On a introduit chacune de ces matières dans un flacon de 1 litre, bouché à l'émeri ; les unes ont été abandonnées sans aucune addition ; dans les autres on a versé 3 à 4 centimètres carrés (selon les cas) de l'infusion précédente, dose qui renfermait 0gr,0007 à 0gr,00096 d'azote. On rebouche aussitôt le flacon avec un bouchon légèrement enduit de vaseline, afin d'assurer une clôture hermétique ; puis on agite vivement pour mélanger.

État final. — Le 3 octobre 1888, c'est-à-dire un peu plus de trois mois après, on a dosé de nouveau l'azote dans ces terres.

Dans presque tous les flacons s'était développée une légère moisissure verte : circonstance non prévue et qui, d'après nos études antérieures, est peut-être nuisible à la fixation de l'azote ; sans doute à cause de quelque antagonisme entre ces moisissures et les microbes fixateurs d'azote. Quoi qu'il en soit, voici les nombres obtenus :

A. — *Terre de l'enclos, préalablement lavée de façon à la débarrasser de nitrates.*

Elle contenait 7 centièmes d'eau.

État initial. — Elle renfermait alors, dans cet état, pour 1 kilogramme sec : Azote = 0gr,9620.

Premier flacon. — Terre sans autre traitement ni addition.

État final. — Pour 1 kilogramme de terre sèche :

	Azote.
	gr.
	1,0281
	1,0131
Moyenne......	1,0206

Gain en trois mois............. 6,1 centièmes

Ce gain est réel et fort supérieur aux limites d'erreur.

Deuxième flacon. — La même terre, portée à 110° au préalable, puis additionnée de 7 centièmes d'eau.

État final :

	Azote.
	gr.
	0,9726
	0,9726
Moyenne......	0,9726

Gain, 0gr,0106, soit............... 1 centième.

c'est-à-dire gain sensiblement nul, car il est compris dans les limites d'erreur des analyses : c'est en effet ce qui devait arriver avec une terre stérilisée.

Troisième flacon. — La même terre, non chauffée et contenant 7 centièmes d'eau. 100 grammes ont été additionnés avec 4 centimètres cubes de l'infusion des tubercules.

État final. — Pour 1 kilogramme :

	Azote.
	gr.
	1,0576
	1,0526
Moyenne......	1,0551

Gain : $0^{gr},0931$.

L'infusion a apporté $0^{gr},00096$ par 100 grammes; soit pour 1 kilogramme : $0^{gr},0096$.

Ce qui réduit l'azote gagné par la terre à $0^{gr},0825$, soit :

Gain en trois mois .... 8,5 centièmes.

Ce gain est réel; mais il ne surpasse guère celui qui a été fait par la terre seule, dans le premier flacon ; c'est-à-dire que les microbes de cette terre ont agi comme ceux des tubercules de légumineuses.

Quatrième flacon. — Même terre, portée à 110° : 100 grammes ont été ensuite additionnés de 7 centièmes d'eau et de 4 centimètres cubes de l'infusion des tubercules.

État final. — Pour 1 kilogramme :

	Azote.
	gr.
	0,9548
	0,9598
Moyenne......	0,9573

Soit, en retranchant l'azote de l'infusion, $0^{gr},9476$; nombre qui ne s'écarte du chiffre initial que de 1,5 centième en moins, c'est-à-dire dans la limite des erreurs.

L'addition de l'infusion des tubercules n'a donc pas restitué à la terre stérilisée par son exposition à 110° son aptitude à fixer l'azote.

Pour les deux autres terres, beaucoup plus riches en azote, et dès lors peu aptes à en fixer dans l'état naturel, je me bornerai à donner les chiffres des expériences (chacun est la moyenne de deux dosages).

B. — *Terre de la terrasse, préalablement débarrassée de nitrates par lavages et amenée à contenir* 8 *centièmes d'eau.*

État initial :

1 kilogramme sec renferme........... 1gr,6449 d'azote

État final. — 1 kilogramme sec renferme :

	Terre naturelle.	La même, additionnée de 40 c. c. (1) d'infusion des tubercules.	La même stérilisée à 110°.	La même, stérilisée, puis additionnée de 40 c. c. d'infusion des tubercules.
Azote....	1gr,584	1gr,655	1gr,555	1gr,614

On voit que cette terre n'a gagné dans aucun cas, elle a même perdu, dans la plupart, une dose sensible d'azote, par suite des fermentations secondaires, dues aux germes préexistants ou apportés par l'eau, et signalées plus haut.

C. — *Terre du parc, préalablement débarrassée de nitrates par lavages et amenée à contenir* 10 *centièmes d'eau.*

État initial :

1 kilogramme sec renferme........... 1gr,7146 d'azote

État final :

	Terre naturelle.	La même, + 40 c.c. d'infusion des tubercules.	La même, stérilisée à 110°.	La même, stérilisée, + 40 c.c. d'infusion des tubercules.
Azote....	»	1gr,763	1gr,675	1gr,749

Ces résultats sont trop peu accentués pour comporter

(1) On a employé 100 grammes de terre, additionnée de 4 centimètres cubes d'infusion, et multiplié les résultats par 10.

l'autre conclusion que celle de l'inactivité propre de l'infusion des tubercules.

Le contenu de ces tubercules n'a donc pas agi d'une façon appréciable : soit que les conditions aient été peu favorables, à cause du développement simultané dans la terre d'autres microbes qui auront étouffé les fixateurs d'azote ; soit que les tubercules ne continssent pas de microbes aptes à vivre par eux-mêmes dans le sol ; soit enfin que le concours de la vie végétale (symbiose) fût nécessaire à la vie et à l'activité des êtres renfermés dans ces tubercules, en les supposant propres à activer la fixation de l'azote dans le sol en présence des Légumineuses.

XI. — *Observations relatives à l'absorption de l'ammoniaque atmosphérique par les terres non acides.*

Voici enfin quelques expériences exécutées dans le but de constater si une terre *destituée de toute réaction acide* et contenant quelques centièmes de carbonate de chaux, — ce qui la rend plutôt alcaline, — possède la propriété de fixer en dose notable l'ammoniaque atmosphérique.

On a opéré sur la terre du parc, ameublie, étalée sur une large surface, déposée sous un hangar librement ouvert : les conditions d'absorption des gaz atmosphériques étaient ainsi amenées au maximum.

État initial. — Cette terre contenait en mai 1888 (page 176) :

Pour 1 kilogramme sec :

	gr.
Azote combiné	1,744
Azote nitrique	0,0168
Carbonate de chaux	31,9
Matière organique, environ	90,0

L'ammoniaque a été dosée d'abord par simple lessivage de la terre avec deux fois son poids d'eau froide, filtration

immédiate et distillation du produit filtré avec de la magnésie ; ce qui a fourni, pour 1 kilogramme de terre supposée sèche :

Azote ammoniacal réel............... $0^{gr},0008$

Ceci se rapporte seulement à l'ammoniaque libre et aux sels ammoniacaux solubles dans l'eau pure, que la terre pouvait renfermer ; mais il est très douteux que l'ammoniaque totale contenue dans cette terre, à l'état possible de sels tant solubles qu'insolubles, surpasse les doses précédentes (1).

Toutefois, pour me conformer à un usage répandu, mais dont la correction me semble plus que douteuse, j'ai traité cette terre par l'acide chlorhydrique étendu et froid et j'ai dosé l'ammoniaque dans l'extrait ainsi obtenu, en le filtrant et en le distillant sur de la magnésie. Voici les données de ce dosage :

50 grammes de terre humide (représentant $47^{gr},07$ secs) ont été additionnés avec 450 centimètres cubes d'un liquide obtenu en mélangeant 50 centimètres cubes d'acide chlorhydrique (renfermant 16 grammes d'acide réel) dans 400 centimètres cubes d'eau : ce qui fait un acide à 3,5 centièmes environ. Avec trois heures de contact à froid, on a filtré et puis on a lessivé le produit insoluble, c'est-à-dire la terre, avec 200 centimètres cubes d'eau froide, graduellement ajoutés. On a réuni toutes les eaux, filtré et distillé sur la magnésie. On a obtenu, pour 1 kilogramme de terre sèche,

Azote ammoniacal (dérivé des amides)........ $0^{gr},0110$

Ce chiffre est du même ordre que ceux déjà obtenus en 1887

(1) Une terre analogue, mais non identique (malgré la valeur pareille de la dose totale d'azote), a fourni, dans des conditions semblables, pour 1 kilogramme :

Azote ammoniacal......................... $0^{gr},0017$

dans des conditions analogues. Mais il est à mon avis, excessif : l'ammoniaque obtenue résultant principalement de la décomposition des composés amidés du sol par l'acide employé. En effet, elle varie, ainsi que nous l'avons établi, M. André et moi, avec la durée du contact, la concentration de l'acide et sa proportion relative. Cependant, tel quel, il nous fournira un nouveau terme de comparaison.

État final. — Le 23 octobre 1888, on a répété les mêmes dosages sur la même terre, exposée à l'air libre, sous un hangar librement ouvert pendant l'intervalle, c'est-à-dire pendant près de six mois. La terre contenait alors, par kilogramme :

Azote.................................. 1gr,779

c'est-à-dire que, dans les conditions spéciales où elle se trouvait, elle n'avait pour ainsi dire rien gagné en azote : 0gr,035 ou 2 centièmes seulement ; différence qui est dans l'ordre des limites d'erreur.

Cette même terre renfermait maintenant -

Azote nitrique........................ 0gr,0488

ce qui accuse une légère nitrification :

A ce moment, on a recherché l'ammoniaque isolable par lavage au moyen de l'eau pure et froide, et l'on a trouvé qu'elle ne surpassait pas 0gr,001 ; c'est-à-dire qu'elle était insignifiante à la fin de l'expérience, aussi bien qu'à ses débuts.

On a exécuté sur cette même terre un lavage avec l'acide chlorhydrique, étendu et froid, dans des conditions et avec des proportions relatives toutes semblables aux précédentes, mais en opérant sur 100 grammes de terre.

On a obtenu cette fois, en rapportant les résultats à 1 kilogramme sec :

Azote ammoniacal (dérivé des amides)........ 0gr,0213

Cette dose d'azote ammoniacal est fournie en majeure partie par l'attaque des amides du sol, sous l'influence de l'acide. En tout cas, elle surpasse seulement de 0gr,0103 la dose initiale.

L'ensemble de ces démonstrations montre que l'ammoniaque atmosphérique n'a formé à dose appréciable, ni sels ammoniacaux, ni amides facilement altérables, en réagissant sur une terre non acide exposée à son action pendant la saison d'été de 1888. Cette ammoniaque n'a pu former non plus, par voie indirecte, une dose notable de nitrates : l'accroissement de ceux-ci étant minime. On voit par là combien est restreinte, sinon même douteuse, l'absorption de l'ammoniaque atmosphérique sur une terre ne renfermant pas d'éléments acides à l'état de liberté.

Voici une autre expérience analogue, mais qui a duré dix-huit mois. Elle a été exécutée sur une terre du même ordre, finement tamisée, et broyée jusqu'à la réduire en poudre très fine : ce qui a eu probablement pour effet d'y faire périr les bactéries et autres microbes altérables par contusion et oxydation, sans modifier d'ailleurs la constitution chimique proprement dite de la terre elle-même. Cette terre n'a pas été chauffée ; elle a été conservée dans un sous-sol bien éclairé, du 10 décembre 1886 au 23 avril 1888. Au début, elle contenait 15,4 centièmes d'eau ; mais on l'avait laissée se dessécher à l'air avant de la tamiser.

État initial. — En décembre 1886, la terre renfermait pour 1 kilogramme sec :

	gr.
Azote combiné........................	1,2365
Azote nitrique.........................	0,017

L'ammoniaque, isolable par lavage à l'eau pure et froide, était insignifiante, comme dans le cas précédent.

État final. — Le 23 avril 1888, cette terre ne contenait plus que 1,9 centième d'eau.

Elle renfermait alors, pour 1 kilogramme sec :

	gr.
Azote	1,2436
Azote nitrique	0,044

L'ammoniaque a été isolée d'abord, en traitant à froid 250 grammes de cette terre par 3 litres d'eau, en filtrant, puis en distillant la liqueur avec de la magnésie. On a trouvé, en rapportant le résultat à 1 kilogramme sec :

Azote ammoniacal réel.............. 0gr,00057

On a traité, d'autre part, 50 grammes de cette terre par un mélange, fait préalablement, de 50 centimètres cubes d'acide chlorhydrique concentré (16 grammes HCl réel) et de 400 centimètres cubes d'eau. Après trois heures de contact à froid, on a filtré, on a lessivé la terre avec 200 centimètres cubes d'eau froide, on a filtré de nouveau et distillé la liqueur sur de la magnésie; ce qui a fourni, pour 1 kilogramme sec :

Azote ammoniacal (dérivé des amides)........ 0gr,0114

On voit par là que la terre étudiée n'a fixé d'azote en dose notable sous aucune forme qui soit attribuable à sa composition chimique proprement dite, et bien qu'elle ait été exposée au contact de l'air pendant dix-huit mois. Ceci montre combien est restreinte l'action de l'ammoniaque atmosphérique sur les terres destituées de réactions acides, de l'ordre de celles qui ont été employées dans mes expériences. On voit encore par là que cette action ne peut aucunement être mesurée par la dose d'ammoniaque absorbée par une surface

donnée, recouverte d'acide sulfurique étendu et exposée à l'atmosphère. Cette dernière dose, j'insiste sur ce point, n'est en aucune façon la mesure du phénomène, pour les terres non acides du moins; car l'acide sulfurique absorbe l'ammoniaque sans en restituer jamais aucune fraction, tandis qu'entre la terre normale et l'atmosphère se produisent des échanges incessants d'ammoniaque. La dose même absorbée par l'acide sulfurique étendu, quelque excessive qu'elle soit par rapport à la dose réelle que la terre isolée est susceptible d'absorber (p. 50, 54, etc.), ne suffirait pas pour expliquer les effets observés, ainsi que je l'ai montré ailleurs (1). Mais ce mode de supputation n'est pas permis; il ne repose sur aucun fondement solide, comme je viens de l'établir. J'ai déjà signalé à plusieurs reprises des faits nombreux qui conduisent à la même conclusion. Elle résulte encore de ce fait qu'une même terre, celle de l'enclos, par exemple, fixe la même dose d'azote qu'à l'air libre, sous une cloche close, où l'ammoniaque atmosphérique ne saurait intervenir, les autres circonstances étant d'ailleurs pareilles (*voir* p. 197 et 204).

Dans cette condition donc, l'azote libre seul peut intervenir.

Ainsi, l'influence de l'azote déjà combiné, que l'atmosphère renferme sous forme de gaz, ou qu'il est susceptible d'apporter sous forme d'eaux pluviales, est minime, au point de vue de la fixation de l'azote sur la terre nue. Dans les conditions ordinaires, elle est plus que compensée par les pertes des nitrates, dues au drainage des eaux d'orage, lors des fortes chutes d'eau : j'ai montré ailleurs (2) que, pendant une période de temps déterminée, l'azote ainsi entraîné dans les profondeurs, aux dépens de la terre nue, surpasse l'azote combiné qui pourrait être apporté par l'atmosphère.

(1) Ce volume, p. 54, 97, 105, etc.
(2) Ce volume, p. 106, 111, et surtout 156, 158, etc.

Si nous revenons à l'objet principal du présent Mémoire, nous pourrons résumer dans le tableau suivant les fixations d'azote observées sur les trois terres étudiées, dans les conditions de mes expériences.

	État initial.			État final.			
	Azote pour 1 kilogramme sec.	Pour la totalité de la terre du pot.	Conditions.	Durée de l'expérience.	Gain absolu.	Gain relatif.	Gain par hectare, calculé pour la même durée et la même profondeur (18cm)
	gr.	gr.		semaines.	gr.	centièmes.	
Terre de l'enclos.	0,974	1,8998	Sous cloche close.....	8	0,1631	8,6	87
	d°	d°	A l'air libre, sous abri transparent..	12	0,1387	7,3	74
	d°	d°	A l'air libre, sans abri.	11	0,1671	8,8	86 (1)
	gr.	gr.					
Terre de la terrasse.	1,655	1,557	Sous cloche.	7	0,0342	2,2	18
	1,655	3,1132	A l'air libre, sous abri.	13	0,1789	5,8	95
	1,655	3,1132	A l'air libre, sans abri.	11	0,2824	9,1	150 (1)
	gr.	gr.					
Terre du parc.	1,744	3,2847	Sous cloche.	7	0,1417	4,3	78
	d°	d°	A l'air libre, sous abri.	11	0,1994	6,1	110 (1)
	d°	d°	A l'air libre, sans abri.	11	0,0544	1,7	30 (1)

Dans ces neuf expériences, et avec les trois terres sur lesquelles j'ai opéré, il y a toujours eu gain d'azote. Le gain a été surtout marqué pour la terre la plus pauvre en azote. Il a eu lieu aussi bien, et avec des valeurs très voisines, pour cette terre sous une cloche close, c'est-à-dire à l'abri des vapeurs, poussières et composés azotés disséminés en petite quantité dans l'atmosphère, qu'à l'air libre ;

(1) Les apports dus à la pluie étant déduits.

Aussi bien à l'air libre sous abri que dans un pot exposé, sans abri, à l'influence des eaux météoriques.

Ces faits démontrent que le gain n'est pas dû à des apports d'azote combiné, mais bien à l'azote libre emprunté à l'atmosphère. Telle est la conclusion à laquelle j'étais déjà parvenu dans les expériences publiées pendant trois ans ; elle reçoit par là une confirmation nouvelle et plus étendue.

Cette conclusion me paraît fondamentale, et elle est établie, j'insiste sur ce point, indépendamment de toute hypothèse plus ou moins vraisemblable sur la nature et sur l'existence même des microbes végétaux ou autres êtres inférieurs, qui sont les agents de la fixation de l'azote.

CHAPITRE X

EXPÉRIENCES FAITES SUR LA TERRE AVEC LE CONCOURS DE LA VÉGÉTATION DES LÉGUMINEUSES POUR ÉTUDIER LA FIXATION DE L'AZOTE

J'ai exécuté une suite méthodique d'expériences, faites sur la terre, avec le concours de la végétation, sur les six espèces de Légumineuses suivantes : le lupin, la vesce, la jarosse, le trèfle, la luzerne et un mélange de vulnéraire et de *medicago lupulina*. Les unes de ces expériences ont été faites à l'air libre, sans abri contre les eaux de pluie ; d'autres sous un abri transparent ; d'autres enfin sous des cloches de 45 litres, en vases complètement clos.

Dans le dernier cas, les cloches étaient ajustées sur une plaque, ou sur une coupe de verre, de façon à réaliser une clôture hermétique (*voir* les *fig.* 1 et 2, ce volume, p. 193 et 195). Dans la plupart des expériences, on a pris soin, à partir du début de la végétation, d'introduire chaque jour dans les cloches une petite quantité d'acide carbonique et de vérifier de temps en temps, par l'analyse d'un échantillon, la composition du gaz intérieur.

Cependant l'une des expériences a été exécutée, à dessein, sans aucune introduction d'acide carbonique. On en a même réalisé une autre au sein d'une atmosphère limitée exprès, de telle façon que la totalité de l'oxygène a été absorbée et remplacée par de l'hydrogène, produit en vertu de fermentations secondaires. Cette expérience contrôle une fois de

plus la nécessité de l'oxygène en excès pour l'absorption de l'azote.

Dans une autre expérieuce, dirigée inversement, on a pris soin de faire passer dans la cloche, chaque jour, un courant d'air représentant 50 litres, que l'on privait soigneusement d'ammoniaque et de poussières, par les actions successives d'un flacon laveur à acide sulfurique étendu et d'un tube en U, rempli de pierre ponce imbibée avec le même acide concentré. En outre, chaque jour, 1 litre d'acide carbonique gazeux était introduit dans la même cloche ; ce gaz agissait sur la plante, mais il était entraîné à mesure par le courant gazeux.

Pour les expériences faites à l'air libre, sans abri, on a adopté les dispositions indiquées dans la *figure* 3 (ce volume, p. 209.

On a opéré sur les trois échantillons de terres définies précédemment : terre de l'enclos, terre de la terrasse, terre du parc: terres inégalement riches en azote et inégalement aptes à en fixer. Leur composition et leur richesse en matière organique et en alcalis ont été données plus haut (1).

On se proposait, dans ces essais, d'examiner spécialement l'aptitude des Légumineuses à fixer l'azote, soit sous l'influence de la terre seule, soit sous l'influence de l'air seul, soit avec le concours de la terre et par son intermédiaire . opinion mixte que mes expériences tendent à appuyer, en conformité d'ailleurs avec celles que j'ai déjà publiées sur d'autres plantes, dans le présent volume (p. 101, 108, 110, 112, 115), comme avec les expériences plus récentes et postérieures de MM. Hellriegel et Wilfarth (2). La théorie de l'absorption initiale de l'azote par la terre, à laquelle j'ai été

(1) Ce volume, p. 174 à 177.

(2) *Untersuchungen über die Stikstoffnahrung der Gramineen und Leguminosen*. Berlin, novembre 1888.

conduit et dont je poursuis depuis six ans (1883-1888) l'étude méthodique, reçoit par là une confirmation tout à fait décisive.

Donnons d'abord la liste exacte des expériences présentes, exécutées parallèlement et simultanément avec les expériences faites sur la terre nue, lesquelles ont été exposées dans le précédent chapitre (p. 190 et suivantes). Elles ont eu lieu dans la saison d'été de 1888 et elles ont duré de six semaines à cinq mois, selon les cas.

A. — Terre de l'enclos, avec végétation

1° Sous cloche, c'est-à-dire en vase hermétiquement clos :

Pot n° 54. Lupin.

Pot n° 55. Vesce.

On doit en rapprocher les expériences faites sur la terre nue, dans les mêmes conditions, avec le pot n° 53 (ce volume, p. 192-198).

2° A l'air libre, sous abri transparent :

Pot n° 40. Vesce.

Pot n° 41. Lupin.

Pot n° 42. Jarosse.

Pot n° 43. *Medicago lupulina*, mélangée de *Anthyllis vulneraria.*

Pot n° 44. Trèfle.

Pot n° 45. Luzerne.

On doit en rapprocher les expériences faites sur la terre nue, avec le pot n° 39 (ce volume, p. 202-205).

3° A l'air libre, sans abri :

Pot n° 47. Vesce.

Pot n° 48. Lupin.

Pot n° 49. Jarosse.

Pot n° 50. *Medicago lupulina* et *Anthyllis vulneraria*, etc.

Pot n° 68. Trèfle.

Pot n° 51. Trèfle.

Pot n° 52. Luzerne.

On y joindra l'analyse du lupin développé en pleine terre, au sein du même terrain.

On doit en rapprocher aussi les expériences faites sur la terre nue, avec le pot n° 46 (ce volume, p. 208-211).

Les expériences faites avec la terre de l'enclos vont du n° 39 au n° 55 sans interruption; soit 17 pots, placés dans des conditions différentes.

B. — Terre de la terrasse, avec végétation

1° Sous cloche :

Pot n° 71. Lupin.

Pot n° 72. Vesce.

On en rapprochera l'expérience faite sur la terre nue, avec le pot n° 70 (ce volume, p. 198-200).

2° A l'air libre, sous abri transparent :

Pot n° 57. Vesce.

Pot n° 58. Lupin.

Pot n° 59. Jarosse.

Pot n° 90. *Medicago lupulina,* mêlée de *Anthyllis vulneraria.*

Pot n° 61. Trèfle.

Pot n° 62. Luzerne.

On en rapprochera l'expérience faite sur la terre nue, avec le pot n° 56 (ce volume, p. 205-206).

3° A l'air libre, sans abri :

Pot n° 64. Vesce.

Pot n° 65. Lupin.

Pot n° 66. Jarosse.

Pot n° 67. *Medicago lupulina,* mêlée de *Anthyllis vulneraria.*

Pot n° 69. Luzerne.

On en rapprochera l'expérience faite sur la terre nue avec le pot n° 63 (ce volume, p. 213-216).

Les expériences faites sur la terre de la terrasse vont du n° 56 au n° 72 sans interruption ; soit 17 pots, placés dans des conditions différentes.

C. — Terre du parc avec végétation

1° Sous cloche :

Pot n° 37. Lupin.

Pot n° 38. Luzerne.

Pot n° 73. Lupin. Autre condition : sans addition d'acide carbonique.

Pot n° 75. Lupin. Autre condition : avec circulation d'air dépouillé d'ammoniaque et de poussières.

Vase n° 74. Lupin. Autres conditions : volume d'oxygène insuffisant et appareil clos, disposé pour mesurer le volume des gaz dégagés pendant la végétation.

On en rapprochera l'expérience faite sur la terre nue avec le pot n° 36 (ce volume, p. 200-202).

2° A l'air libre, sous abri transparent :

Pot n° 23. Vesce.

Pot n° 24. Lupin.

Pot n° 25. Jarosse.

Pot n° 26. *Medicago lupulina*, mêlée de *Anthyllis vulneraria*.

Pot n° 27. Trèfle.

Pot n° 28. Luzerne.

On en rapprochera l'expérience faite sur la terre nue avec le pot n° 22 (ce volume, p. 206-208).

3° A l'air libre, sans abri :

Pot n° 30. Vesce.

Pot n° 31. Lupin.

Pot n° 32. Jarosse.

Pot n° 33. *Medicago lupulina*, mêlée de *Anthyllis vulneraria*.

Pot n° 34. Trèfle.

Pot n° 35. Luzerne.

On en rapprochera l'expérience faite sur la terre nue avec le pot n° 29 (ce volume, p. 215-217).

Les expériences faites avec la terre du parc vont du n° 22 au n° 38 sans interruption ; elles comprennent, en outre, les n°s 73, 74 et 75 ; ce qui fait 20 pots, placés dans des conditions différentes.

L'ensemble des études faites avec les trois terres a compris 63 expériences, exécutées parallèlement sur ces trois terres et sur six espèces de légumineuses ; sans préjudice des expériences faites dans d'autres conditions, telles que celles de la série X sur l'ensemencement par les tubercules radicaux (ce volume, p. 217-222), de la série XI (ce volume, p. 222 et suivantes) sur l'absorption de l'ammoniaque par les terres non acides, et de la série spéciale, décrite pages 225-226, sur la stabilité de la dose d'azote combiné dans une même terre conservée à l'abri de l'action de l'azote et des ferments.

Les conclusions générales qui se dégagent de cette longue et méthodique suite d'expériences seront exposées à la fin du chapitre. Résumons-les en deux mots :

Les terres nues, c'est-à-dire sans végétaux supérieurs, sur lesquelles j'ai opéré, absorbent de l'azote ; mais cette absorption est beaucoup plus considérable lorsqu'on opère avec une terre ensemencée de légumineuses, et elle porte alors à la fois sur la terre et sur la plante.

On voit par là que l'azote accumulé par les légumineuses n'est pas extrait des profondeurs indéfinies du sol, comme on l'a supposé quelquefois. Le grand développement des racines

de ces plantes a surtout pour but de contracter avec la terre une union intime, éminemment favorable à l'absorption de l'azote libre ; celle-ci étant déterminée sans doute par les microbes originaires du sol, auxquels les racines fourniraient un milieu de culture plus favorable.

L'enrichissement simultané de la terre et de la plante en azote, qui s'observe avec les légumineuses, n'a pas lieu d'une manière nécessaire, ni pour toutes les familles végétales. Parmi celles-ci, il en est, comme je l'ai montré pour les Amarantes, qui sont susceptibles d'enlever au sol une portion de son azote, portion supérieure parfois à l'azote que celui-ci a fixé (ce volume, p. 108). *A fortiori* cet appauvrissement du sol peut-il être constaté avec les plantes qui en épuisent l'azote combiné, comme on l'admet depuis longtemps pour les graminées : ce dernier point vient d'ailleurs d'être traité en détail par MM. Hellriegel et Willfarth, dont les conclusions générales concordent avec les miennes.

L'ensemble de ces résultats est fondamental : la théorie aussi bien que la pratique agricole devront désormais en tenir compte.

Exposons le détail de ces nombreuses et laborieuses expériences, dans lesquelles j'ai rencontré de la part de M. André le concours le plus dévoué ; j'ai plaisir à l'en remercier ici publiquement.

A. — Terre de l'enclos, avec végétation

A. — 1° Sous cloche.

La disposition des appareils ayant été décrite dans ce volume (p. 193 et 195), il est inutile d'y revenir. La seule dif-

férence, c'est que, dans les expériences actuelles, on a pris soin d'enfouir au sein de la terre des pots, des graines en nombre et en poids connus. On note les phases diverses de la végétation. A la fin de l'expérience, on sépare avec soin la plante, les racines et la terre, en vue des analyses, en opérant de la manière suivante :

Plantes (*partie aérienne*). — On arrache complètement la plante, si elle vient facilement avec ses racines, que l'on isole ensuite ; sinon on la coupe au ras du sol. Dans un cas comme dans l'autre, on pèse aussitôt la partie aérienne de la plante et (s'il y a lieu) ses racines, séparément ; on la coupe rapidement en petits morceaux, et on la sèche à l'étuve à 100°, de façon à obtenir la matière première des analyses. Cette matière est rendue aussi homogène que possible, par une division convenable, suivie au besoin d'un broyage que la plante fraîche ne comporterait pas, mais qui est devenu possible après sa dessiccation. On conserve le tout en flacon. On a soin de dessécher de nouveau les échantillons, au moment des analyses. En général, on a dosé ainsi l'eau, la cendre et l'azote, dans chaque échantillon. Parfois, mais exceptionnellement, on y a dosé aussi le carbone organique et d'autres éléments.

Dans certains cas, pour la luzerne cultivée à l'air libre par exemple, on a cru utile de faucher à un moment donné les parties vertes de la plante au voisinage du sol, sans pourtant mettre fin à sa végétation. Elle a repoussé ensuite, et, à la fin de la saison, on a procédé à la récolte complète et à l'arrachage méthodique. Dans ces cas, qui sont comparables à une récolte suivie de regain, on a analysé séparément chacun des échantillons successifs, au moment même où on l'a isolé.

Tel est le traitement de la partie aérienne de la plante.

Mais le traitement des racines exige une marche particu-

lière. Quand on met fin à l'expérience, en même temps qu'on recueille la plante, on prend soin d'en isoler les racines, dans les cas où l'on réussit à les arracher exactement. On les coupe alors au point de séparation de la tige; on les pèse aussitôt, on les dessèche et on les traite comme ci-dessus, séparément.

Mais, en général, on ne réussit pas à séparer ainsi complètement les racines. Pour y arriver, il est nécessaire de dépoter toute la terre du pot, sur une surface unie. On le fait d'ordinaire, au cas où elle n'est pas trop humide, sur une grande feuille de papier blanc; sinon, sur des carreaux de faïence bien propres. On sépare alors les racines avec un soin attentif: séparation facile pour certaines plantes, mais au contraire fort délicate et minutieuse pour d'autres, qui développent un chevelu fin et abondant. Dans ce dernier cas, l'opération exige plusieurs heures; elle doit être exécutée avec une pince fine et jusqu'à ce qu'on n'aperçoive plus à l'œil nu aucun débris organique.

Les racines ainsi isolées sont déposées dans une assiette, de façon à compléter la dessiccation spontanée de la terre qui peut s'y trouver adhérente. On détache alors cette terre, par un frottement très ménagé, et on la réunit à la masse principale.

Les racines, une fois récoltées, sont divisées avec des ciseaux ; puis elles sont desséchées. On les broie alors, afin de rendre la masse aussi homogène que possible. On y dose l'azote, la cendre et, au besoin, les éléments que l'on juge utile de connaître.

Terre. — La terre, une fois séparée de la plante et de ses racines, est d'abord mise à sécher à l'air libre, pendant quelques heures, de façon à en rendre le broyage plus facile; puis on la broie en totalité et méthodiquement, et on la passe

à un tamis fin, opérations rendues plus faciles par cette circonstances qu'elle avait déjà subi un premier criblage avant d'être mise en pots (*voir* ce volume, p. 172). On mélange ainsi la terre complètement, et on l'analyse, en observant d'ailleurs toutes les précautions décrites.

Ces détails sont communs non seulement aux expériences faites sous cloche, mais à toutes: on a cru utile de les donner ici tout d'abord.

Sous cloche, deux expériences ont été faites sur la terre de l'enclos, l'une avec le lupin (pot n° 54); l'autre avec la vesce (pot n° 55).

Pot n° 54. — Lupin.

Du 9 mai au 15 juin 1888 (c'est-à-dire cinq semaines, ou plus exactement trente-six jours).

Le pot contenait $3^{kg},931$ de terre, renfermant 12 centièmes d'eau, soit:

	kg.
Terre sèche (110°)	3,510
Eau	0,421
	3,931

Cette terre renfermait, par kilogramme sec: $0^{gr},974$ azote; soit pour la totalité du pot:

Azote combiné .... $3^{gr},4197$

Elle contenait:

Azote nitrique .... $0^{gr},0221$

Par incinération, elle laissait 94,9 centièmes.

Le kilogramme contenait: carbone organique $19^{gr},8$, c'est-à-dire environ 45 grammes de matière organique.

On y a semé 20 graines de lupin, pesant 10 grammes à

l'état naturel; soit 9gr,401 à l'état sec (100°). Ces graines renfermaient, sur 100 parties sèches :

Azote	5,14
Carbone (1)	44,11
Cendres	3,67

L'azote total de ces graines pesait donc 0gr,483 ; leur carbone, 4gr,147, et leurs cendres, 0gr,345.

L'appareil a été disposé le 9 mai, dans une pièce bien éclairée, où la cloche pouvait recevoir l'action ménagée du soleil pendant quelques heures. Toutes les fois que cette action semblait trop intense, on la modérait en abaissant un store.

Le 16 mai, une graine commence à soulever la terre. On introduit par un tube, disposé dans la tubulure supérieure, 200 centimètres d'acide carbonique.

Le 18 mai, la terre se casse et se soulève sur plusieurs points, en gros fragments. Nouvelle addition d'acide carbonique, que l'on réitère chaque jour, à la dose de 1 litre environ, dans la cloche (capacité : 45 litres). Sur un point, on voit un peu de *Penicillium*.

Le 21 mai, les plantes sont en bon état ; les feuilles proprement dites apparaissent. On prélève, à l'aide d'un aspirateur, 1 litre de gaz, que l'on remplace par 1 litre d'air ambiant.

Le gaz prélevé renferme, sur 100 volumes :

CO^2	9,5
O	19,0
Az	71,5

Cette dose d'acide carbonique est un peu trop forte pour

(1) 0gr,9691 de matière sèche (broyée et rendue homogène), brûlée dans une nacelle, avec le concours de l'oxygène et de l'oxyde de cuivre, ont fourni : CO^2 = 1gr,5658. Dans la cendre, on a dosé l'acide carbonique des carbonates, soit : 0gr,0020. La somme des deux nombres, soit : 1gr,5678, permet de calculer le carbone total.

La même marche a été suivie pour les autres graines.

une végétation régulière. C'est pourquoi j'ai cessé dès lors d'en introduire.

Le 25 mai, 19 pieds sont en état de développement ; un seul demeure en retard. Les tiges sont blanchâtres et tendent à s'allonger démesurément ; les feuilles sont peu colorées. L'analyse de l'atmosphère indique à ce moment 9,7 centièmes en volume d'acide carbonique.

La prise répondant à cette analyse a été obtenue de la façon suivante : l'air d'un gazomètre étant refoulé vers le centre de la cloche, la prise était faite au même moment, à la partie supérieure, par un tube coudé qui traversait le bouchon de la tubulure et qui arrivait au dehors au fond d'un petit flacon ; on déplaçait l'air du flacon au moyen d'un volume 12 à 15 fois aussi grand, emprunté aux gaz de la cloche. On amène ainsi la composition du gaz intérieur du flacon à être sensiblement la même que dans la cloche. Cette manière d'opérer s'applique aussi aux analyses suivantes. Observons qu'au moment où se fait ce prélèvement, l'équilibre de pression se rétablit entre l'intérieur de la cloche et l'atmosphère ambiante : ce qui peut donner lieu encore à la pénétration (ou à la sortie) d'un peu de gaz. Le tout d'ailleurs modifie peu la composition de l'air intérieur de la cloche.

Le 31 mai, on trouve ainsi dans cet air intérieur : 10 centièmes en volume d'acide carbonique et 17 d'oxygène.

Les feuilles sont vertes et en bon état ; les tiges s'allongent toujours. L'un des pieds se recouvre de *Penicillium* blanchâtre.

La végétation continue ainsi médiocrement. Le 8 juin, les feuilles semblent ne plus grandir.

Analyse du gaz intérieur, en ce moment, en centièmes du volume :

CO^2	10,0
O	13,5
Az	76,5

Cette analyse indique une certaine absorption d'oxygène. Au contraire, l'acide carbonique est demeuré à peu près constant, s'il ne s'est même un peu accru.

Cependant le développement des plantes s'arrête : vers le 8 juin, elles commencent même à se flétrir. Le 15 juin, elles meurent. On met fin à l'expérience. Les plantes sont envahies à ce moment par des moisissures blanches (*Penicillium*). L'eau ruisselle sur les parois de la cloche, condition peu favorable à la végétation.

Je m'attendais depuis quelque temps à voir le développement de la plante s'arrêter ; les conditions de l'expérience étant mauvaises, à cause de la saturation de l'atmosphère par la vapeur d'eau. Cependant j'ai cru intéressant de la pousser jusqu'au bout, afin de reconnaître l'influence d'une végétation commençante, même incomplète, sur la fixation de l'azote. Voici les résultats observés.

A ce moment, on a recueilli 18 pieds de lupin, très mous et sans vigueur. Ils pesaient :

A l'état humide : 23gr,25 ;

A l'état sec : 5gr,25 ;

Soit : eau, 77,52 centièmes.

On a recueilli en outre, tant à la surface du sol que dans son intérieur, divers débris végétaux, tels que racines, fragments des enveloppes de graines, feuilles tombées, etc., s'élevant à

9gr,40 humides,

Et à 8gr,40 secs ;

Soit : eau, 10,64 centièmes.

On a dosé l'azote dans la terre, dans la plante proprement dite et dans ses débris ; ce qui a fourni, pour la terre d'abord :

Azote de la terre (2 dosages, rapportés à 1 kilogramme sec).	1,0929
» » » » »	1,0770
Moyenne par kilogramme....	1,0852

c'est-à-dire pour le pot entier (1).

Azote combiné..... .... 3gr,802

On a trouvé aussi :

Azote nitrique........................ 0gr,0291

Ce dernier chiffre, comparé à celui de l'azote nitrique initial (0gr,0221), montre que la terre n'est pas devenue réductrice pendant le cours de l'expérience. Elle est donc demeurée dans les conditions convenables pour absorber l'azote libre (*voir* ce volume, p. 139 et 198). La végétation n'a pas été non plus assez active pour consommer les nitrates de la terre, bien qu'elle en ait pris peut-être quelque peu, mais avec une certaine compensation, due à la nitrification spontanée.

On a encore obtenu :

	gr.
Azote de la plante proprement dite.....	0,3656
Azote des racines et divers débris......	0,0697
Total.....................	0,4353
Carbone de la plante, d'après dosage exprès.............................	2,1250
Carbone des débris et racines, d'après dosage exprès.......................	0,8306
Total.....................	2,9556
Cendres de la plante : 9,3 centièmes, c'est-à-dire en poids.................	0,490
Cendres des débris et racines : 79,3 centièmes, c'est-à-dire en poids..........	6,650
Total.....................	7,140
Matière organique de la plante.........	4,76
Matière des racines, etc	2,14
	6,90

(1) En tenant compte de la portion de matière minérale fixée sur la plante, et qui se retrouve dans ses cendres ; soit, tout calcul fait : 7,140 (cendres de la plante) — 0,345 (cendres des graines) = 6gr,795.

Le poids initial de la terre (3 510 grammes) doit donc être diminué de 6gr,8.

D'après ces données, nous pouvons établir l'équation de l'azote. En effet, nous avions au début :

	gr.
Azote de la terre....................	3,420
Azote des graines....................	0,483
Somme	3,903

Nous avons à la fin :

	gr.
Azote de la terre....................	3,8020
Azote de la plante....................	0,3556
Azote des débris et racines....................	0,0797
	4,2373

Le gain s'élève à 4,237 — 3,903 = 0gr,334.

Soit 8,6 centièmes pour la terre et la plante réunies.

Ce gain de 0gr,334 pour une surface de 282 centimètres cubes, qui est celle du pot, répondrait par hectare à un gain de 119 kilogrammes, obtenu en cinq semaines et sous une épaisseur de sol de 18 centimètres. Ce chiffre est un peu plus fort que celui de 87 kilogrammes, qui a été observé sous cloche avec la terre nue et le pot n° 53 (ce volume, p. 197); cependant, il est du même ordre de grandeur et il répond au même enrichissement centésimal de la terre (1).

Si nous décomposons ce gain, nous voyons qu'il a porté entièrement sur la terre, qui a gagné

$$3,802 - 3,420 = 0^{gr},382,$$

soit 11,1 centièmes ;

Tandis que la plante a perdu en azote la différence entre 0gr,483 (graines) et 0gr,435 (plante finale). Les racines et débris renfermaient d'ailleurs seulement le cinquième de l'azote de la plante.

(1) Le poids de la terre et la surface du pot n'étaient pas les mêmes dans les deux expériences; ce qui explique pourquoi un même gain centésimal répond à des gains inégaux par hectare.

Cette absence de gain et même cette perte sensible répondent au développement imparfait de la végétation. En effet, le carbone de la plante a diminué, étant tombé de 4gr,147 à 2gr,9556 ; le poids même de la matière organique a baissé de 9gr,056 à 6gr,90.

L'azote perdu s'est répandu en grande partie dans le sol, sous forme de produits de décomposition. Cependant une portion a pu être exhalée dans l'atmosphère, à l'état d'azote libre.

Ces résultats sont corrélatifs des observations relatives à la composition des gaz, pendant le cours de la végétation. En effet, j'ai dit plus haut (p. 242) que la richesse de l'atmosphère de la cloche en acide carbonique était demeurée à peu près constante ; c'est-à-dire que l'acide carbonique introduit n'avait pas été absorbé pendant le cours de la végétation, s'il n'avait même légèrement augmenté. L'oxygène, au contraire, a un peu diminué. Cependant la fonction chlorophyllienne s'est exercée, puisqu'il s'est développé des feuilles vertes. Mais son effet n'a pas été suffisant pour compenser, par l'oxygène qu'elle a mis en liberté aux dépens d'une certaine dose d'acide carbonique décomposé, l'oxygène absorbé d'autre part par les organes de la plante, lequel a reproduit de l'acide carbonique aux dépens des principes organiques de la plante et de la terre. Cette formation d'acide carbonique en a compensé sensiblement la décomposition ; elle est attribuable, d'ailleurs, soit à l'action directe de l'oxygène absorbé, soit aux dédoublements et fermentations. Ce que nous avons observé en réalité, dans notre expérience, c'est une compensation imparfaite, résultante de deux ordres d'effets opposés : résultante qui n'a pas été susceptible de donner lieu à une fixation de carbone sur le végétal, au contraire.

Observons, en outre, que la perte relative observée sur le carbone de la plante et de ses débris, est de 29 centièmes ;

tandis que la perte relative sur l'azote, dans la plante et ses débris réunis, est seulement de 10 centièmes.

Ce résultat, digne de remarque, s'explique parce que la plante, à ce degré de développement si voisin de sa naissance, renferme des principes azotés en plus forte proportion que la graine. On l'a vérifié d'ailleurs directement sur la plante, comparée à la graine. En effet, la graine (sèche) contenait 5 centièmes d'azote, cendres déduites. Tandis que la plante proprement dite qui en dérivait renfermait 7 centièmes d'azote, ou plutôt 7,7 centièmes, cendres déduites. Même en faisant entrer en ligne les racines et autres débris, pour en ajouter la matière organique à celle de la plante, on trouverait encore que l'ensemble renferme 6,3 centièmes d'azote. Ces chiffres sont caractéristiques.

C'est là d'ailleurs un fait général pour les jeunes végétaux et les jeunes tissus ; sa vérification, dans le cas présent, montre que le lupin n'a pas vécu en traversant, même d'une manière languissante, tous les degrés de son évolution normale. Mais il s'est arrêté à un certain terme, précédant la floraison ; terme qu'il n'a pas franchi, en raison des conditions défavorables où il était placé. Il ne s'agit donc pas ici d'une plante limite, d'après une expression employée autrefois par Boussingault pour les végetaux chétifs qui accomplissènt toutes leurs phases de vie normale, sans s'enrichir en carbone; mais il s'agit d'une plante arrêtée dans son développement.

Les faits connus en agriculture, sur l'existence d'une période stationnaire, aux débuts du développement du lupin, s'accordent avec les résultats précédents.

Une autre remarque, que nous retrouverons encore dans plusieurs cas, concerne la dose des cendres dans les graines et dans la plante. Elle était de 3,67 centièmes dans la graine ;

elle s'est élevée à 9,3 centièmes dans la plante proprement dite, et jusqu'à 79,3 centièmes dans les débris et racines extraits du sol. A la vérité, on doit admettre que ces derniers sont mélangés d'un peu de terre, malgré toutes les précautions prises. Cependant cela ne suffit pas pour rendre compte d'un tel enrichissement des racines, aussi bien nettoyées que possible en matière minérale. Cet enrichissement est incontestable; il se retrouve dans la plupart de mes observations sur d'autres légumineuses : nous verrons plus loin (p. 250, 263, 265, 266, 268, 269, 270) que les racines ainsi développées dans l'enceinte limitée d'un pot, sont souvent extrêmement riches en cendres. Quant à la jeune plante même, sa richesse en matière minérale est un fait assez général dans l'étude des organismes végétaux, pris à leur début.

Le fait le plus saillant de cette expérience, au point de vue que nous étudions ici, c'est l'absorption en vase clos de l'azote par la terre, même en présence du végétal : soit 8,6 centièmes de l'azote initial; absorption sensiblement égale à celle que la terre nue a produite dans une cloche pareille et dans une expérience de durée semblable (ce volume, p. 197).

Pot n° 55. — *Vesce.*

Du 9 mai au 29 juin 1888, c'est-à-dire sept semaines (51 jours).

Le pot contenait $3^{kg},931$ de terre, renfermant 12 centièmes d'eau, soit :

	kg.
Terre sèche (110°)	3,510
Eau	0,421
	3,931

On a trouvé pour le pot entier :

Azote ($0^{gr},674$ pour 1 kilogramme sec). $3^{gr},420$

On a obtenu également :

Azote nitrique 0gr,0221

L'incinération laisse 94,9 centièmes.

1 kilogramme sec renferme :

C. organique 19gr,8

soit 45 grammes environ de matière organique.

Le 9 mai, on a semé des graines de luzerne, pesant (sec) 1gr,39 et renfermant, d'après dosages :

	gr.
Az	0,0845
C	0,613
Cendres	0,084

Le 16 mai, des pieds nombreux de vesce ont levé. On introduit à ce moment 200 centimètres cubes d'acide carbonique dans la cloche (qui jauge 45 litres). Le 18 mai, les plantes sont envahies par le *Penicillium* ; le 21, elles paraissent mortes.

Le 22 mai, on sème de nouveau 92 graines de vesce, pesant (sec) 3gr,60 et renfermant :

	gr.
Az	0,1889
C	1,4010
Cendres	0,232

Le 26 mai, les cotylédons cassent la terre. Le 31 mai, les tiges commencent à sortir. On introduit pendant trois jours 1 litre d'acide carbonique chaque fois.

Le 2 juin, l'atmosphère renferme, d'après l'analyse faite sur un échantillon, 6,3 centièmes d'acide carbonique en volume. A ce moment, les tiges se sont allongées, en demeurant très grêles, jusqu'à la longueur de 20 centimètres ; les feuilles terminales apparaissent.

Le 4 juin, les tiges atteignent 30 centimètres ; feuilles plus développées.

Le 8 juin, les tiges commencent à se replier, en s'appli-

quant à la paroi de la cloche. Des moisissures apparaissent. Les folioles sont déjà nombreuses.

Le 12 juin, un échantillon du gaz intérieur est prélevé ; il contient, en centièmes du volume :

CO^2	5,0
O	18,5
Az	76,5

L'aspect des tiges, feuilles et folioles, n'a pas beaucoup changé. Leur développement continue ainsi à se faire dans d'assez bonnes conditions en apparence.

Le 15 juin, l'analyse des gaz indique, en centièmes du volume :

CO^2	2,0
O	20,0
Az	78,0

Il paraît donc qu'il y a eu absorption d'acide carbonique et production d'oxygène, c'est-à-dire exercice de la fonction chlorophyllienne. On introduit à ce moment 1 litre d'acide carbonique.

Le 24 juin, il s'est développé des moisissures abondantes de *Penicillium* ; les plantes dépérissent ; les feuilles sont demeurées petites.

Le 29 juin, les feuilles commencent à jaunir. On met fin à l'expérience et l'on analyse les produits.

On trouve à ce moment :

	gr.
Terre, pour 1 kilogramme sec : Az	1,0900
	1,0849
Moyenne	1,0874
Soit pour le pot entier (1)	3,8015

(1) Le poids initial sec, 3kg,510, doit être diminué du poids

(15gr,70 — 0,316) = 15gr,4

de la matière minérale fixée sur la plante et ses débris : ce qui ramène le poids de la terre sur laquelle le dosage d'azote a été exécuté, à 3kg,495. Le calcul de l'azote final a été établi en conséquence.

On obtient ainsi :

Azote nitrique........................ 0gr,1021

On voit que la nitrification a eu lieu, et même à un degré marqué, malgré la présence du *Penicillium*.

On obtient encore :

	Plante humide.	Plante sèche.	
	gr.	gr.	
Plante (partie aérienne).	12,80	4,80	(soit 37,4 centièmes)
Racines et débris.......	17,0	14,05	(soit 82,7 centièmes)
	31,80	18,85	

Voici la richesse en azote de ces diverses portions :

	Azote.
	gr.
Plante (partie aérienne)................	0,1240
Racines et débris.................... ..	0,0321
Somme..........	0,1561

	Carbone.	Matière organique.	Cendres (1) Poids absolu.	Cendres (1) En centièmes.
	gr.	gr.	gr.	
Plante (part. aérienne).	0,8182	1,90	2,90	60,5
Racines et débris......	0,6549	1,25	12,80	91,4
	1,4731	3,15	15,70	

En définitive, on a trouvé, en azote combiné :

	gr.
Terre initiale..........................	3,4197
Graines de luzerne.....................	0,0845
Graines de vesce.........	0,1889
Somme..........	3,6931
	gr.
Terre finale...........................	3,8005
Plante.................................	0,1561
Somme..........	3,9566
Retranchant.....	3,6931
Gain total.... ..	0,2635

c'est-à-dire 6,7 centièmes.

(1) La plante et ses débris ont été, autant que possible, séparés de la terre (*voir* p. 237, 238).

Le poids d'azote ainsi fixé, soit $0^{gr},2635$, sur une surface de 282 centimètres carrés, répondrait à un gain de 94 kilogrammes par hectare, en sept semaines et sur une épaisseur de sol de 18 centimètres : c'est sensiblement le même que pour la terre nue (87 kilogrammes), sous cloche (ce Volume, p. 197; *voir* aussi, p. 244, l'expérience du lupin).

Distinguons maintenant la terre et la plante dans cette fixation.

Le gain d'azote pour la terre seule est : $0^{gr},3818$.

Soit 11,2 centièmes ; plus fort relativement que pour l'ensemble.

C'est qu'il y a perte d'azote sur les plantes.

Soit $0,1561 - 0,2734 = - 0^{gr},1173$.

Cette perte vient surtout de la destruction des graines de luzerne qui n'ont pas poussé et qui ont dû enrichir la terre. Cependant l'azote de la plante finale ($0^{gr},156$) est inférieur même à celui des graines de vesce, envisagées isolément. Ajoutons enfin que l'azote des racines ne forme que la cinquième partie de la plante.

Le gain dû à la décomposition des graines de luzerne est d'ailleurs fort inférieur au gain total de la terre. Le système entier, terre et plante réunies, a gagné, en définitive : 9,7 centièmes d'azote, ainsi qu'il a été dit plus haut.

Pour mieux caractériser ces résultats, comparons le carbone de la matière organique de la plante à celui des graines placées en terre.

Équation du carbone.

		Matière organique.
	gr.	gr.
Les graines de luzerne contenaient : C..	0,613	1,31
Les graines de vesce » C..	1,401	9,37
Somme.........	2,014	4,68
La plante finale renfermait : C..........	1,473	3,15

Elle s'était donc en réalité appauvrie en carbone et en matière organique, malgré l'absorption momentanée d'un peu d'acide carbonique : ce qui montre bien le caractère imparfait de la végétation accomplie dans les conditions précédentes.

Disons enfin que le rapport de l'azote au carbone était, dans les graines, celui de 13,5 centièmes; dans la plante, 10,6 centièmes.

Le rapport de l'azote à la matière organique était, dans les graines, 5,8 centièmes ; dans la plante, 5 centièmes.

Mais l'évaluation de ces rapports est peu sûre pour la plante, à cause de la dose considérable de matière minérale qu'elle a entraînée avec elle.

En résumé, il y a eu fixation d'azote sur la terre, au même titre et dans le même ordre de grandeur en présence de la vesce qu'avec la terre nue. La dose est pourtant un peu moindre (6,7 centièmes) en présence du végétal, qu'avec la terre nue (8,6 centièmes); comme si, dans cette première période de son développement, il consommait l'azote de la terre, contrairement à ce qui arrive pour une évolution plus complète de la plante.

Résumons les résultats de cette série d'expériences, en ce qui touche l'azote.

(A. 1°) ***Équation générale de l'azote dans les cultures exécutées sous cloche, avec la terre de l'enclos*** (1 kilogramme ***sec*** $= 0^{gr},974$), ***à partir du 9 mai 1888.***

Surface des pots, 283 centim. carrés; profondeur 18 centim. environ.

		Pot n° 54. Lupin.	Pot n° 55. Vesce.
Durée		5 semaines	7 semaines
		gr.	gr.
État initial.	Terre	3,4197	3,4197
	Graines	0,4830	0,4210
	Somme	3,9027	3,8407

		Pot nº 54. Lupin.	Pot nº 55. Vesce.
		gr.	gr.
État final..	Terre.....	3,8020	3,8005
	Graines ..	0.4353	0,1561
	Somme........	4,2373	3,9566
Gain..................		0gr,3346	0gr,2635
C'est-à-dire....		8,6 centièmes	6,7 centièmes

Les deux échantillons ont donc gagné, et le gain a eu lieu par la terre, attendu que la plante n'a pas atteint le terme de son développement où elle commence à assimiler l'azote et le carbone tirés des milieux extérieurs.

C'est ici le lieu de faire remarquer combien les conditions de la culture sous cloche sont imparfaites, au point de vue physiologique. En effet, la plante est alors obligée de se développer dans une atmosphère saturée de vapeur d'eau : circonstance éminemment défavorable pour sa vitalité, parce qu'elle empêche la transpiration, et aussi parce qu'elle est propice au développement des moisissures.

Ce n'est pas tout : cette eau se transporte aux parois, où elle se condense. Elle intercepte ainsi, de concours avec le verre de la cloche, les radiations lumineuses les plus efficaces pour toutes les réactions chimiques qui président à la végétation.

En outre, le potentiel électrique de l'air, lequel intervient d'une manière nécessaire dans la végétation en plein air, en vertu des lois générales de la Physique, et tend à déterminer la fixation de l'azote sur tout composé organique, ce potentiel, dis-je, est nul sous cloche.

Dans un autre ordre de phénomènes, l'atmosphère intérieure ne tarde pas à renfermer les vapeurs des produits excrétés par la plante, produits susceptibles d'exercer une influence nuisible sur la suite de son existence. La production de doses sensibles d'ammoniaque libre, dans ces conditions,

sera mise en évidence plus loin, ainsi que celle d'autres vapeurs nuisibles.

Enfin la forme circulaire des cloches détermine, à certains moments de la journée, une concentration des rayons solaires et une surchauffe intérieure, qui peut aller jusqu'à flétrir les feuilles, même au sein de la vapeur d'eau.

Il n'est donc pas surprenant, en raison de cet ensemble de conditions peu favorables, que la plante se développe mal sous cloche. Mais la fixation de l'azote par la terre, même dans ces conditions, n'en est pas moins établie avec certitude par les expériences qui précèdent.

A. 2°. — Terre de l'enclos, avec végétation, à l'air libre, sous abri transparent.

La disposition des appareils a été donnée plus haut (p. 202).

Les procédés de récolte et la marche des analyses ont été également exposés à l'article (A. 1°) de ce volume, p. 237 et suivantes, ainsi qu'aux pages 171 et suivantes.

Six expériences ont été exécutées, chacune avec une espèce de légumineuse différente, savoir :

Pot n° 40, vesce ; pot 41, lupin ; pot 42, jarosse ; pot 43, *Medicago lupulina*, mêlée de *Anthyllis vulneraria* (1) ; pot 44, trèfle ; pot 45, luzerne.

Ces expériences ont été conduites parallèlement ; c'est pourquoi, au lieu de les décrire pour chaque pot isolé, — ce qui entraînerait des longueurs et des répétitions continuelles, — on a cru préférable d'en exposer les résultats dans une suite de paragraphes et de tableaux, comprenant les 6 pots, pour chaque genre de résultats.

(1) Ce mélange a été accidentel ; le grainetier l'ayant fourni, au lieu des graines de vulnéraire isolées qui lui avaient été commandées.

Elles ont toutes commencé le même jour, le 11 mai; mais elles ont été terminées à des époques différentes, du 18 juillet au 16 octobre. Cette diversité a été déterminée, d'une part, par celle des périodes différentes de la végétation, auxquelles on se proposait d'arrêter l'étude, et, d'autre part, par le caractère tardif de la végétation dans certaines espèces. Pour le cas de la luzerne notamment, on a fait deux récoltes (récolte normale et regain).

Dans tous les cas, voici le contenu et l'ordre des divisions adoptées, pour exposer et coordonner les nombreux résultats de ces expériences :

I. (A. 2°). ***État initial***, comprenant la ***composition de la terre***, commune aux six expériences, et la ***composition des six espèces de graines***. On y a joint l'indication de la ***durée*** de chaque expérience et celle de l'***azote apporté par les eaux d'arrosage***.

(A. 2°). ***État final***, qui se subdivise dans les paragraphes suivants :

II. ***État des plantes au moment où l'on a mis fin à l'expérience.***

III. ***Composition finale de la terre.***

IV. ***Composition finale des plantes.***

V. ***Équation générale de l'azote.***

Les mêmes divisions seront suivies avec les trois terres, et pour la double condition (sous abri et sans abri) où l'on a opéré les cultures. Les comparaisons seront dès lors plus faciles à l'établir.

I. — (A. 2°.) ÉTAT INITIAL

Terre. — Chaque pot renfermait, au début, $3^{kg},931$ de terre à 12 centièmes d'eau, c'est-à-dire :

	kg.
Terre sèche	3,510
Eau	0,421
	3,931

Il contenait :

Azote (0gr,974 pour 1 kilogramme sec). 3gr,4197

Il renfermait :

Azote nitrique........................ 0gr,0221

L'incinération de cette terre laisse 94,8 centièmes.

1 kilogramme sec renferme :

Carbone organique......... .... 19gr,8

soit 45 grammes environ de matière organique.

Ces données sont communes aux six expériences.

Graines. — Voici le poids et la composition des graines :

Poids et composition des graines employées (1).

Nature des plantes.	Nombre des graines.	sec.	Azote en Poids	Azote en centièmes.	Matière organique.	Carbone.	Cendres en poids.	Cendres en centièmes.
		gr.	gr.		gr.	gr.	gr.	
N° 40. Vesce....	94	3,65	0,1916	5,3	3,42	1,420	0,235	6,5
N° 41. Lupin....	20	9,40	0,4832	5,1	9,05	4,147	0,345	3,7
N° 42. Jarosse...	51	4,53	0,2328	5,1	4,42	»	0,104	2,3
N° 43. *Medicago lupulina*, mélangée de vulnéraire.......	env. 500	1,35	0,0911	6,8	1,29	»	0,061	4,5
N° 44. Trèfle....	»	1,80	0,1181	6,6	1,72	»	0,084	4,7
N° 45. Luzerne..	750	1,39	0,0845	6,1	1,31	0,613	0,084	6,1

Le carbone formait dans la vesce les 42,1 centièmes de la matière organique; dans le lupin, les 46 centièmes; dans la luzerne, les 47 centièmes : rapports voisins en somme de la composition de la cellulose (44,4), mélangée avec divers autres principes accessoires.

Durée et arrosage. — Le tableau suivant indique la durée

(1) *Voir* p. 179. Les poids des graines ne sont pas exactement les mêmes; ils ont été déterminés directement dans chaque série.

de chaque expérience et la dose d'azote ammoniacal, apportée par les eaux distillées employées pour l'arrosage.

Nature des plantes.	Durée.	Azote d'arrosage.
		gr.
N° 40. Vesce....	Du 11 mai au 27 juillet 1888 (77 jours)..	0,0030
N° 41. Lupin....	Du 11 mai au 18 juillet (68 jours).....	0,0030
N° 42. Jarosse...	Du 11 mai au 20 août (101 jours).......	0,0051
N° 43. *Medicago lupulina* et Vulnéraire..	Du 11 mai au 16 octobre (158 jours)....	0,0096
N° 44. Trèfle....	Du 11 mai au 30 juillet (80 jours).......	0,0030
N° 45. Luzerne..	Du 11 mai au 22 septembre (134 jours).	0,0096

(A. 2°.) État final

II. — (A. 2°.) *État des plantes au moment où l'on a mis fin aux expériences.*

Pot n° 40. *Vesce.* 27 juillet. Plantes en bon état. Un certain nombre de pieds ont fleuri et fructifié.

Pot n° 41. *Lupin.* 18 juillet. Plantes en bon état. Quelques feuilles jaunes à la partie inférieure. 13 pieds en fleurs, sur 19 développés. Ces pieds étant trop nombreux et le pot trop peu profond, la végétation a été moins florissante qu'en pleine terre. A peine quelques tubercules sur les racines, qui forment un abondant chevelu.

Pot n° 42. *Jarosse.* 20 août. Plantes jaunies. Quelques-unes en fleurs. Tubercules sur les racines.

Pot n° 43. *Medicago lupulina.* 16 octobre. La végétation a été plus lente qu'avec les autres pots. A la fin, il y avait des pieds en fleurs et en fruits. Nombreux tubercules sur les racines. Quelques pieds de plantain, dont les semences ont probablement été apportées par le vent; à moins qu'elles ne fussent déjà contenues dans le mélange initial (*voir* la note de la p. 254). Malgré la complexité de ces résultats, on a

cru utile d'exécuter les analyses, afin de compléter les termes de comparaison.

Pot n° 44. *Trèfle.* 30 juillet. Plantes jaunes et desséchées, peu nombreuses. Nombreux tubercules sur les racines.

Pot n° 45. *Luzerne.* Le 22 août, on coupe la partie verte avec des ciseaux, à quelques millimètres du sol, et l'on en fait l'analyse.

Les plantes repoussent, avec le concours d'un arrosage abondant et répété deux fois aussi souvent que celui des autres pots. Le 22 septembre, la luzerne est en bon état. Elle ne porte pas de fleurs; mais les tubercules des racines sont nombreux, le chevelu extrêmement abondant, les racines pivotantes très puissantes.

La séparation finale des plantes, des racines et de la terre a été exécutée d'après les procédés de la page 237.

III. — (A. 2°.) *Composition finale de la terre.*

Pot n° 40. *Vesce.* La terre a fourni, pour 1 kilogramme sec :

	gr.
	1,1071
	1,1020
Moyenne......	1,1056

On a trouvé :

Azote nitrique, pour la totalité de la terre.... 0gr,0091

Les nitrates subsistent donc, malgré l'activité de la végétation; mais leur dose a été réduite à moins de moitié par celle-ci. La réduction eût été bien plus forte, sinon totale, si la terre ne les avait pas régénérés, au fur et à mesure de leur consommation.

Pour évaluer la dose finale de l'azote fixé sur la terre du

pot tout entier, il convient d'observer que le poids initial de la terre doit être diminué de celui des matières minérales fixées sur la plante analysée et sur ses racines. Or il sera établi tout à l'heure que ce dernier poids s'élève à :

$$69^{gr},6 - 0,2 \text{ (cendre des graines)} = 69^{gr},4;$$

ce qui donne, pour le poids total de la terre finale, à laquelle se rapporte l'azote dosé ci-dessus :

$$3\,510 \text{ gr.} - 69 \text{ gr.} = 3441 \text{ grammes.}$$

On a dès lors :

Azote final de la terre................. $3^{gr},804$

La terre, envisagée isolément, a gagné en azote, sous l'influence de la végétation de la vesce, en deux mois et demi (en déduisant en outre l'eau d'arrosage), sur la totalité de cette terre : $0^{gr},381$,

Soit 11,1 centièmes.

Ou bien, par kilogramme brut : $0^{gr},1318$,

Soit 13,5 centièmes. Ce chiffre l'emporte sur le précédent, à cause de la matière minérale fixée sur les racines et sur la plante.

Pot n° 41. *Lupin*. La terre a fourni, pour 1 kilogramme sec :

	gr.
	1,0578
	1,0578
Moyenne......	1,0578

On a trouvé :

Azote nitrique, pour la totalité de la terre. Traces non dosables.

La végétation, cette fois, a fait disparaître à peu près complètement les nitrates.

Pour évaluer l'azote fixé, le poids initial de la terre doit être diminué de celui des matières minérales fixées sur la plante et ses racines, soit

$$39^{gr},5 - 0,35 \text{ (cendres des graines)} = 39^{gr},1\,;$$

ce qui ramène le poids final de la terre analysée à :

$$3510 - 39 = 3471 \text{ grammes.}$$

Dès lors, on a :

Azote final de la terre................. $3^{gr},673$

La terre, envisagée isolément, a donc gagné en dix semaines, sous l'influence de la végétation du lupin,

Dans sa totalité : $0^{gr},253$; soit 7,4 centièmes ;

Ou, par kilogramme : $0^{gr},0834$; soit 8,6 centièmes.

Pot n° 42. *Jarosse.* La terre a fourni à l'analyse, pour 1 kilogramme sec :

	Azote.
	gr.
	1,0935
	1,0781
Moyenne......	1,0858

Il n'y avait plus que des traces de nitrates, non dosables.

Le poids initial de la terre doit être diminué de celui des matières minérales fixées sur la plante et ses racines, soit :

$$122^{gr},5 - 0,1 = 122^{gr},4\,;$$

ce qui fait pour la terre finale :

$$3510 - 122 = 3388 \text{ grammes.}$$

On a, dès lors :

Azote final de la terre................. $3^{gr},679$

La terre, envisagée isolément, a donc gagné, en trois mois :

En totalité : $0^{gr},258$ d'azote ;

Soit 7,6 centièmes;

Ou, par kilogramme : 0^{gr},1114;

Soit 11,5 centièmes.

Pot n° 43. ***Medicago lupulina*** et plantes diverses. La terre a fourni à l'analyse, pour 1 kilogramme sec :

	Azote.
	gr.
	1,1093
	1,1042
Moyenne......	1,1067

Il n'y avait plus que des traces de nitrates.

Le poids initial de la terre doit être diminué de 18^{gr},1 (fixés sur la plante); ce qui la réduit à :

3510 — 18 = 3492 grammes.

On a, dès lors :

Azote final de la terre................ 3^{gr},863

La terre, envisagée isolément, a donc gagné en cinq mois, sous l'influence de la végétation :

En totalité : 0^{gr},443;

Soit 12,9 centièmes;

Ou, par kilogramme : 0^{gr},133;

Soit 13,6 centièmes.

Pot n° 44. *Trèfle*. La terre a fourni à l'analyse, pour 1 kilogramme sec :

	Azote.
	gr.
	1,0685
	1,0685
Moyenne......	1,0685

On a trouve :

Azote nitrique, pour la totalité du pot......... 0^{gr},0043

Il y a diminution des nitrates. Cependant la végétation n'a pas suffi pour faire disparaître tous les nitrates originels, ou de nouvelle formation.

Le poids initial de la terre doit être diminué de 44gr,9 (fixés sur la plante); ce qui la réduit à

3510 — 45 = 3465 grammes.

On a, dès lors :

Azote final de la terre.................. 3gr,704

La terre, envisagée isolément, a donc gagné en deux mois et demi :

En totalité : 0gr,262 d'azote ;

Soit 7,7 centièmes ;

Ou, par kilogramme : 0gr,0941 ;

Soit 9,7 centièmes.

Pot n° 45. *Luzerne*. La terre a fourni à l'analyse, pour 1 kilogramme sec :

	Azote.
	gr.
	1,0911
	1,1116
Moyenne......	1,1013

Azote nitrique.......................... .. Nul

Le poids initial de la terre doit être diminué de 100gr,5 (fixés sur la plante) ; ce qui la réduit à :

3510 — 100,5 = 3409gr,5.

On a, dès lors :

Azote final de la terre.................. 3gr,756

La terre, envisagée isolément, a donc gagné en quatre mois, sous l'influence de la végétation :

En totalité : 0gr,312 ;

Soit 9,1 centièmes;

Ou, par kilogramme : $0^{gr},107$;

Soit 11 centièmes.

IV. — (A. 2°.) *Composition finale des plantes.*

Pot n° 40. *Vesce*. Le 17 juillet, on a recueilli les plantes. On a obtenu :

	gr.
Plantes humides (coupées au niveau du sol).....	49,05
Racines et débris divers........................	104,30
	153,35

	gr.	
Plantes sèches (coupées au niveau du sol).	13,30	(27,11 centièmes)
Racines et débris secs....................	80,1	(76,79 centièmes)
	93,41	

	Azote		
	en poids.	en centièmes du poids total.	en centièmes de la matière organique.
	gr.		
Plantes (partie aérienne)...	0,2860	2,15	2,46
Racines, etc..............	0,2931	0,37	2,45
	0,5791		

	Matière organique		Cendres	
	en poids.	en centièmes.	en poids.	en centièmes.
	gr.		gr.	
Plantes (partie aérienne).	11,64	87,5	1,66	12,5
Racines, etc.............	12,20	15,1	67,90	84,9
	23,80		69,56	

Le poids absolu de l'azote total dans la plante s'est élevé de $0^{gr},192$ à $0^{gr},579$; c'est-à-dire qu'il a triplé, malgré la courte durée de l'expérience (deux mois). Les racines renferment à peu près la moitié de cet azote.

D'un autre côté, le poids de la matière organique a monté de $3^{gr},42$ à $23^{gr},8$. Elle est aussi répartie à peu près également

entre la partie aérienne des plantes et les racines. On voit que ce poids a septuplé : relation qui doit être à peu près celle du carbone.

On déduit de ces nombres que le rapport de la matière organique à l'azote a dû être réduit environ à moitié, tant dans la plante totale que dans chacune de ses deux portions, aérienne et souterraine. L'identité de ce rapport dans les deux portions existe pour l'azote comparé à la matière organique, mais non pour l'azote comparé au poids total de la partie aérienne ou de la racine; ce dernier poids comprenant des doses extrêmement différentes de cendres. La diminution même survenue dans le rapport final de l'azote à la matière organique, est la conséquence du degré du développement de la plante, laquelle devient de plus en plus riche en tissus ligneux, à mesure qu'elle avance dans la durée annuelle de sa vie : on rappellera de nouveau que celle-ci a accompli ses phases très rapidement dans l'expérience actuelle.

La grande richesse de la plante en cendres mérite d'être notée, surtout dans la partie extérieure au sol (12,5 centièmes). Quoique les racines soient suspectes de terre adhérente, cependant cette circonstance ne suffit pas pour en expliquer la richesse en matière minérale (84,9 centièmes); attendu que, d'une part, on a enlevé avec soin toute la terre visible, et que, d'autre part, cette même circonstance se retrouve, pour la plante proprement dite, comme pour la racine, dans les espèces diverses de légumineuses sur lesquelles j'ai opéré. Je rappellerai qu'elles se sont développées au sein d'un pot et d'une masse de terre confinée, où les racines ne pouvaient pas s'étendre librement.

Dans ces conditions, il se produit, entre la terre et les racines de la plante, une sorte d'union intime, due sans doute

à la présence et au mode de vie particulier des microbes supposés fixateurs d'azote.

L'équation générale de l'azote dans le pot n° 40 sera présentée plus loin, en même temps que celle des autres pots.

Pot n° 41. *Lupin*. Les plantes ont été récoltées le 18 juillet. On a obtenu :

	gr.
Plantes humides (partie aérienne)	126,7
Racines et débris	67,35
	194,05

	gr.	
Plantes sèches (partie aérienne)	27,65	(21,8 centièmes)
Racines et débris secs	40,25	(59,8 centièmes)
	67,90	

	Azote		
		en centièmes	
	en poids.	du poids total.	de la matière organique.
	gr.		
Plantes (partie aérienne)	0,2611	0,945	1,29
Racines, etc.	0,1133	0,28	1,70
	0,3744		

	Matière organique		Cendres	
	en poids.	en centièmes.	en poids.	en centièmes.
	gr.		gr.	
Plantes (partie aérienne).	21,61	78,15	6,04	21,85
Racines, etc.	6,79	16,87	33,46	83,13
	28,40		39,50	

Le poids de l'azote total de la plante, circonstance singulière, a diminué de près d'un quart; étant tombé de $0^{gr},4832$ à $0^{gr},3743$, dont un tiers environ dans les racines, leur partie organique étant plus riche en azote que celle de la plante aérienne.

Cependant, le poids de la matière organique a monté de $9^{gr},05$ à $28^{gr},40$, c'est-à-dire qu'il a triplé; un tiers appartient

aux racines. La richesse de la plante en cendres est analogue à la précédente.

Le gain d'azote a porté entièrement sur la terre.

Observons qu'il y avait peu de tubercules sur les racines; ce qui semble corrélatif de l'absence de fixation d'azote sur la plante. On voit par là, comme par les autres observations relatées dans ce chapitre, que le lupin n'est pas une espèce favorable pour le genre d'expériences que je poursuivais; du moins sous cloche, ou bien dans l'espace limité d'un pot et d'une expérience de deux mois seulement. Sa vitalité demeure alors insuffisante. Il en serait sans doute autrement en pleine terre et au bout d'une saison complète; mais alors l'espace illimité dans lequel la plante se développe ne permet pas de conclusions rigoureuses.

Pot n° 42. *Jarosse*. Les plantes ont été récoltées le 20 août. On a obtenu :

	gr.
Plantes humides (partie aérienne)	67,65
Racines et débris (chevelu)	188,25
	255,90

	gr.	
Plantes sèches (partie aérienne)	24,85	(36,3 centièmes)
Racines et débris secs (chevelu)	135,85	(71,7 centièmes)
	160,70	

	Azote		
		en centièmes	
	en poids.	du poids total.	de la matière organique.
	gr.		
Plantes (partie aérienne)	0,2174	0,887	1,28
Racines	0,4924	0,365	2,42
	0,7098		

	Matière organique		Cendres	
	en poids.	en centièmes.	en poids.	en centièmes.
	gr.		gr.	
Plantes (partie aérienne)	17,00	69,2	7,55	30,80
Racines, etc.	20,35	15,0	114,7	85,00
	37,35		122,52	

Le poids de l'azote total de la plante a triplé, ayant passé de $0^{gr},233$ à $0^{gr},710$. Les racines en renferment les cinq septièmes : ce qui montre bien leur rôle prépondérant dans la fixation de l'azote, au moins pour cette espèce et cette expérience.

Le poids de la matière organique, ayant passé de $4^{gr},42$ à $37^{gr},35$, est devenu près de neuf fois aussi considérable ; elle est à peu près également répartie entre les racines et la partie aérienne, comme avec la vesce.

La richesse de la plante en cendres est toujours considérable, surtout pour les racines, et même pour la partie aérienne.

Le gain d'azote, dans cette expérience, a porté à la fois sur la terre et sur la plante, et même sur cette dernière principalement. Il y a plus : ce gain a eu lieu en majeure partie dans la portion souterraine, qui renferme 2,42 centièmes d'azote (rapporté à la matière organique); tandis que la partie aérienne en contient 1,28 centième seulement.

Toutes ces observations s'accordent avec le rôle spécifique joué par la terre et par ses microbes dans la nutrition de la plante.

Rappelons enfin que cette expérience se rapporte à une végétation qui s'est développée seulement trois mois.

Pot n° 43. ***Medicago lupulina***, plantain, etc. (*voir* p. 257). Plantes récoltées le 16 octobre. On a obtenu :

	gr.
Plantes humides (partie aérienne).............	67,6
Racines et débris....	45,7
	113,3

	gr.	
Plantes sèches (partie aérienne)...........	23,35	(34,5 centièmes)
Racines et débris secs.................. ..	26,10	(57,3 centièmes)
	49,45	

	Azote en poids.	Azote en centièmes du poids total.	Azote en centièmes de la matière organique.
	gr.		
Plantes (partie aérienne)....	0,5836	2,50	2,91
Racines, etc...	0,2592	1,00	2,30
	0,8428		

	Matière organique en poids.	Matière organique en centièmes.	Cendres en poids.	Cendres en centièmes.
	gr.		gr.	
Plantes (partie aérienne).	20,07	85,95	3,28	14,05
Racines, etc............	11,30	43,14	14,84	56,86
	31,37		18,12	

Le poids de l'azote total de la plante est devenu neuf fois aussi considérable ; tandis que celui de la matière organique est devenu vingt-cinq fois aussi grand. Cette dernière croît donc toujours dans une progression beaucoup plus forte que l'azote (*voir* p. 264).

Un tiers de l'azote seulement a été trouvé dans les racines ; deux tiers dans la partie aérienne. Les mêmes rapports approximatifs existent pour la matière organique. Cependant, la partie aérienne de la plante est un peu plus riche en azote (rapporté à la matière organique) que la partie souterraine.

Ces divers rapports ne sont pas les mêmes que pour les espèces précédentes ; la différence résulte probablement de la durée beaucoup plus longue de la vie de la plante, qui a été récoltée seulement le 16 octobre, au lieu de l'être en juillet ou en août.

Le poids des cendres est bien moindre dans cette espèce que dans les précédentes, surtout dans la racine ; circonstance liée sans doute également avec la durée plus longue de son développement.

Le gain d'azote est très considérable sur la terre, comme

sur la plante ; mais celui de la plante surpasse de plus de moitié le gain de la terre. Observons enfin que, la durée de cette culture (cinq mois) ayant été plus considérable que celle des précédentes, la plante a atteint à peu près la limite de son développement annuel; plus lent d'ailleurs que celui de la vesce et de la jarosse.

Pot n° 44. *Trèfle*. Récolte faite le 30 juillet. On a obtenu :

	gr.
Plantes humides (partie aérienne)	26,75
Racines et débris	54,75
	81,50

	gr.	
Plantes sèches (partie aérienne)	12,10	(45,2 centièmes)
Racines et débris secs	49,15	(82,5 centièmes)
	61,25	

	Azote		
		en centièmes	
	en poids.	du poids total.	de la matière organique.
	gr.		
Plantes (partie aérienne)	0,1144	0,95	1,17
Racines, etc	0,0953	0,19	1,44
	0,2097		

	Matière organique		Cendres	
	en poids.	en centièmes.	en poids.	en centièmes.
	gr.		gr.	
Plantes (partie aérienne).	9,73	80,4	2,37	19,60
Racines, etc	6,57	13,4	42,58	86,60
	16,30		44,95	

Le poids de l'azote total de la plante s'est accru, sans pourtant doubler tout à fait; tandis que la matière organique a plus que décuplé. Le gain d'azote a porté surtout sur la terre. Entre les racines et la plante aérienne, ce gain est réparti à peu près également, les racines étant un peu plus riches en azote, etc.

La diversité de ces rapports pour les différences espèces de légumineuses mises en expérience, atteste les conditions variées de leur évolution. Elle n'en rend que plus manifeste le caractère général et commun à toutes ces évolutions : je veux dire la fixation de l'azote, tant par la plante que par la terre.

Pot n° 45. *Luzerne*.

Le 8 août, on a fait une première récolte, en coupant les parties vertes et aériennes.

Le 22 septembre, on a fait une deuxième récolte définitive, portant à la fois sur la partie aérienne et sur les racines. Voici les résultats :

	gr.
Plantes humides (partie aérienne). 1re récolte....	15,5
» » » » 2e »	40,4
Racines et débris (chevelu).....................	172,6
	228,5

	gr.
Plantes sèches (partie aérienne). 1re récolte.	5,20 (33,54 centièmes)
» » » » 2e » .	14,30 (35,39 centièmes)
Racines et débris (chevelu) secs...........	127,40 (73,81 centièmes)
	146,90

	Azote		
		en centièmes	
	en poids.	du poids total.	de la matière organique.
Plantes (partie aérienne).	gr.		
1re récolte.......	0,1436	2,76	3,16
» 2e »	0,3641	2,55	3,52
Racines..................	0,5685	0,45	1,80
	1,0762		

	Matière organique		Cendres	
	en poids.	en centièmes.	en poids.	en centièmes.
Plantes (partie aérienne).	gr.		gr.	
1re récolte.....	4,55	87,4	0,65	12,58
» 2e »	10,30	72,1	4,00	27,92
Racines	31,50	24,8	95,90	75,19
	46,35		100,55	

L'azote total de la plante est devenu douze fois aussi considérable, et la matière organique quarante fois aussi forte. Cet accroissement a porté en grande partie sur les racines, dont l'azote envisagé isolément est sextuple de celui de la graine, et la matière organique vingt-cinq fois aussi forte.

En faisant le compte de l'azote total de la partie aérienne des deux récoltes réunies, on trouve qu'il est à peu près égal à celui des racines; tandis que la matière organique des racines est double de celle de la partie aérienne. D'où il résulte que l'azote est fort inférieur comme proportion centésimale dans les racines; contrairement à ce qui a été observé pour la jarosse (pot n° 42, p. 267).

La terre a gagné aussi de l'azote, mais dans une moindre proportion; sans doute parce que la plante en a pris à mesure la majeure partie. La richesse des plantes en matière minérale, même dans la partie aérienne, est considérable.

Ces résultats s'accordent avec ceux des expériences faites sur les autres espèces, pour montrer que le mode de développement des diverses légumineuses est fort différent; du moins lorsqu'il s'opère, comme ici, dans l'espace d'un pot, limité comme surface et comme profondeur, et dans des conditions où les racines demeurent unies et en quelque sorte incorporées à une dose de matière minérale formant un trentième de la masse totale de la terre (jarosse et luzerne); on verra plus loin des exemples où cette dose s'est élevée jusqu'à un dixième.

V. — (A. 2°.) *Équation générale de l'azote dans les cultures exécutées en plein air, sous abri, avec la terre de l'enclos* (0gr,974 azote par kilogramme sec), *à partir du* 11 *mai* 1888.

(Surface du pot : 282 centimètres carrés. — Profondeur de la terre : 18 centimètres environ).

		Pot n° 40. Vesce.	Pot n° 41. Lupin.	Pot n° 42. Jarosse.	Pot n° 43. Vulnéraire et *Medicago*.	Pot n° 44. Trèfle.	Pot n° 45. Luzerne.
Durée de la culture		11 semaines.	10 semaines.	14 semaines.	22 semaines.	11 semaines.	19 semaines.
		gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
État initial	Terre	3,4197	3,4197	3,4197	3,4197	3,4197	3,4197
	Graines	0,1916	0,4832	0,2328	0,0911	0,1181	0,0845
	Arrosage	0,0030	0,0030	0,0051	0,0096	0,0030	0,0096
Somme		3,6143	3,8059	3,6576	3,5204	3,5408	3,5138
État final	Terre	3,805	3,673	3,679	3,862	3,704	3,756
	Plante	0,579	0,374	0,710	0,843	0,210	1,076
Somme		4,384	4,047	4,389	4,705	3,914	4,832
		3,614	3,806	3,658	3,520	3,541	3,514
Gain		0,770	0,241	0,731	1,185	0,373	1,318
		c'est-à-dire 21,3 cent.	c'est-à-dire 6,4 cent.	c'est-à-dire 20 cent.	c'est-à-dire 33,7 cent.	c'est-à-dire 10,5 cent.	c'est-à-dire 37,5 cent.

Ainsi, dans toutes les expériences faites avec la terre de l'enclos, à l'air libre, sous abri transparent, sur ces six espèces de Légumineuses, malgré la diversité dans les conditions et la durée inégale de leur évolution, il y a eu constamment gain d'azote. Ce gain a surpassé de beaucoup, sauf pour le lupin, les gains observés en vase clos, soit avec les Légumineuses, soit avec la terre nue.

Le gain a été surtout considérable dans les expériences de plus longue durée : en 19 semaines, avec la luzerne, il s'est élevé jusqu'à 37,5 centièmes.

Le gain a porté sur la terre, dans tous les cas, et aussi sur la plante, sauf pour le cas unique du lupin. Dans les expériences les plus courtes, c'est la terre qui a gagné le plus; mais dans les expériences les plus longues, le gain de la plante en azote a surpassé le gain de la terre. Quoique celui-ci n'ait pas été proportionnel au temps dans les divers essais, cependant, c'est dans l'expérience la plus longue (n° 43) que la terre a le plus gagné.

On observera que les racines de ces diverses Légumineuses sont très abondantes et que leur poids a été souvent bien supérieur à celui de la plante aérienne. Ce poids se décompose d'ailleurs en matière minérale, qui en constitue jusqu'aux 86 centièmes, et en matière organique, complémentaire. L'incorporation d'une si forte dose des matières minérales de la terre aux racines répond bien à la notion d'une sorte de vie commune, où la terre et la plante entrent en participation. Ajoutons que le poids de la matière organique des racines est souvent égal, supérieur, et même double, par rapport à celui de la matière organique de la portion aérienne, et que la dose relative de l'azote y est égale et parfois supérieure : toutes circonstances qui viennent à l'appui de l'idée que la partie souterraine est l'un des sièges

[illegible] les Légumineuses. Le [illegible] [illegible] très [illegible] apparaît [illegible]

[illegible] — Terre de [illegible] avec végétation, à l'air libre. [illegible]

[illegible] mètre [illegible] permettre [illegible] abondantes [illegible] figure. [illegible] renversées à mesure sur [illegible]

[illegible] Légumineuses [illegible] Vesce. — Pot n° 48. [illegible] — [illegible] *Medicago lupulina* [illegible] — [illegible] Trèfle. — Pot n° 51. Luzerne.

Les expériences [illegible] le [illegible] mai 1888 et elles ont été terminées [illegible] différentes [illegible] 16 juillet au [illegible] luzerne.

[illegible]

Terre. — [illegible] au début $3^{kg},931$ de terre, [illegible]

	kg.
Terre [illegible]	3,510
E[illegible]	0,421
	3,931

Il renfermait :

Azote total [illegible] pour 1 kilogr. sec. $3^{gr},4197$

On y a trouvé :

Azote nitrique.................... $0^{gr},0221$

L'incinération de cette terre laisse 94,8 centièmes.

1 kilogramme sec de la terre renferme :

Carbone organique.................... 19gr,8

soit 45 grammes environ de matière organique.

Composition des graines.

Elle est donnée par le tableau suivant :

Poids et composition des graines employées.

Nature des plantes.	Nombre de graines.	Poids sec.	Azote en poids.	Azote en centièmes.	Carbone.	Matière organique en poids.	Matière organique en centièmes.	Cendres en poids.	Cendres en centièmes.
		gr.	gr.			gr.		gr.	
N° 47. Vesce	93	3,60	0,1890	5,3	1,400	3,37	93,5	0,232	6,5
N° 48. Lupin	20	9,45	0,485	5,1	4,169	9,10	96,4	0,347	3,7
N° 49. Jarosse	51	4,53	0,2328	5,1	»	4,42	97,5	0,103	2,3
N° 50. *Medicago lupulina* et Vulnéraire	500 envir.	1,35	0,0911	6,8	»	1,28	95,0	0,062	4,5
N° 51. Trèfle	» »	1,801	0,1181	6,6	»	1,41	94,8	0,084	4,7
N° 52. Luzerne	750 »	1,39	0,0845	6,1	0,613	1,31	93,9	0,084	6,1

Durée — pluie et arrosage.

Le tableau suivant indique la durée de chaque expérience, la dose d'azote ammoniacal apporté par les eaux d'arrosage, et, pour les eaux de pluie, la somme de l'azote ammoniacal et de l'azote nitrique :

	Durée.	Azote d'arrosage.	Azote des eaux de pluie.	Somme des apports d'azote par l'eau.
			gr.	gr.
N° 47. Vesce	Du 11 mai au 27 juillet 1888 (77 jours)	0,0015	0,0108	0,0123
N° 48. Lupin	Du 11 mai au 16 juillet 1888 (66 jours)	0,0015	0,0108	0,0123
N° 49. Jarosse	Du 11 mai au 20 août 1888 (101 jours)	0,0036	0,0147	0,0183
N° 50. *Medicago lupulina*	Du 11 mai au 21 septembre 1888 (133 jours)	0,0096	0,0150	0,0246
N° 51. Trèfle	Du 11 mai au 30 juillet 1888 (80 jours)	0,0015	0,0108	0,0123
N° 52. Luzerne	Du 11 mai au 22 septembre 1888 (134 jours)	0,0096	0,0150	0,0246

(A. 3°.) ÉTAT FINAL

II. — (A. 3°.) *État des plantes au moment où l'on a mis fin aux expériences.*

Pot n° 47. *Vesce*, 27 juillet. Plantes en bon état; racines très puissantes, avec nombreux tubercules.

Pot n° 48. *Lupin*, 16 juillet. Plantes en bon état. Quelques feuilles jaunes à la partie inférieure.

Presque tous les pieds sont en fleurs. Les racines très puissantes, mais avec peu de tubercules.

Observons que cette plante cultivée en pot est beaucoup moins vigoureuse que les lupins venus en pleine terre, et dont l'analyse sera donnée comparativement.

Pot n° 49. *Jarosse*, 20 août. Plantes jaunies. Quelques-unes en fleurs. Tubercules sur les racines.

Pot n° 50. *Medicago lupulina*, 21 septembre. Végétation tardive. Plantes en bon état, très allongées; fleurs et fruits. Quelques pieds de mouron rouge et de plantain semés par accident (*voir* p. 254). Tubercules sur les racines.

Pot n° 51. *Trèfle*, 30 juillet. Plantes en bon état, un peu jaunes. Racines puissantes, avec nombreux tubercules.

Pot n° 52. *Luzerne*, 22 septembre. Le 8 août, on a coupé la partie verte avec des ciseaux (1re récolte). Le 22 septembre, on met fin à l'expérience (2e récolte). Plantes en bon état; pas de fleurs. Racines pivotantes, très puissantes et très multipliées, pourvues de tubercules.

III. — (A. 3°.) *Composition finale de la terre.*

Pot n° 47. *Vesce.* La terre a fourni, pour 1 kilogramme sec :

	Azote.
	gr.
	1,0577
	1,0526
Moyenne......	1,0551

On a trouvé :

Azote nitrique, pour la totalité du pot........ $0^{gr},0039$

Les nitrates subsistent, malgré la végétation ; mais ils ont diminué.

Pour évaluer la dose totale de l'azote final dans la terre, il est nécessaire que l'on déduise du poids initial celui des matières minérales fixées sur les plantes. Ce poids s'élève, dans le cas actuel, à

$96^{gr},0 - 0,2$ (cendres des graines) $= 95^{gr},8$.

La terre dans laquelle on a dosé l'azote ci-dessus pesait donc :

$3510 - 96 = 3414$ grammes.

Donc :

Azote final de la terre................ $3^{gr},606$

La terre, envisagée isolément, a gagné, sous l'influence de la végétation de la vesce, en deux mois et demi, pour la totalité :

$3\,606 - 3\,420 = 0^{gr},186$ d'azote.

Ou, plus exactement, $0^{gr},171$, en déduisant les eaux d'arrosage et de pluie ; cela fait en définitive un gain de 5 centièmes par rapport à l'azote total initial ;

Ou bien encore, par kilogramme brut, un gain de $0^{gr},081$;

Soit 8,4 centièmes.

La différence de ces chiffres résulte de la matière minérale fixée sur la plante.

Pot n° 48. *Lupin*. La terre a fourni, pour 1 kilogramme sec:

	Azote.
	gr.
	1,0062
	0,9854
Moyenne......	0,9958

Azote nitrique, pour la totalité du pot.. Traces non dosables.

Le poids initial de la terre, diminué de celui des matières minérales fixées sur la plante, est :

$$3510 - 103 = 3407 \text{ grammes.}$$

Donc :

Azote final de la terre................. 3^{gr},396

La terre, envisagée isolément, a perdu en dix semaines la différence entre ce chiffre et 3^{gr},420 (azote initial) ; soit 0^{gr},024; perte évaluée un peu trop bas, en raison des apports dus à l'arrosage. En tenant compte de ceux-ci, la perte absolue s'élève à

$$-(0{,}024 + 0{,}012 \text{ arrosage}) = -0^{gr}{,}036,$$

soit 1 centième.

Par kilogramme brut, la terre aurait gagné, au contraire, 2,2 centièmes; l'écart est dû à la matière minérale fixée sur la plante. On reviendra sur ces chiffres, en discutant le gain total dû à la terre et à la plante réunies.

Pot n° 49. *Jarosse*. La terre a fourni, pour 1 kilogramme sec :

	Azote.
	gr.
	1,0555
	1,0351
Moyenne......	1,0453

Azote nitrique pour la totalité du pot....... Traces.

Poids initial de la terre, diminué de celui des matières minérales fixées sur la plante :

3510 — 139 = 3371 grammes.

Donc :

Azote final de la terre............... 3gr,524

La terre, envisagée isolément, a gagné en quatorze semaines :

0gr,104 — 0,018 (arrosage) = 0gr,086,

soit 2,5 centièmes;

Ou par kilogramme brut : 0gr,071 ;

Soit 7,3 centièmes.

Ce chiffre est supérieur au précédent, toujours à cause de la dose de matière minérale fixée sur la plante.

Pot n° 50. *Medicago* et plantes diverses. La terre a fourni, pour 1 kilogramme sec :

	Azote.
	gr.
	1,1303
	1,1099
Moyenne......	1,1201

Azote nitrique......................... Nul.

Voici le poids initial de la terre, diminué de celui des matières minérales fixées sur la plante :

3510 — 328 = 3182 grammes.

Donc :

Azote final de la terre.......... .... 3gr,564

La terre, envisagée isolément, a gagné en dix-neuf semaines :

0,144 — 0,025 (arrosage et pluie) = 0gr,119,

soit 3,5 centièmes.

Ou par kilogramme brut : 0gr,146 ;

Soit 15 centièmes.

La différence de ces deux chiffres résulte du poids très considérable des cendres du végétal.

Pot n° 51. *Trèfle.* La terre a fourni, pour 1 kilogramme sec :

	Azote.
	gr.
	1,0701
	1,0550
Moyenne......	1,0625

On a trouvé :

Azote nitrique, pour la totalité du pot. 0gr,0109

Ainsi les nitrates subsistent, quoique diminués de moitié.

Voici le poids initial de la terre, diminué de celui des matières minérales fixées sur la plante :

$$3510 - 107 = 3403 \text{ grammes.}$$

Donc :

Azote final de la terre............ .... 3gr,615

La terre, envisagée isolément, a gagné en onze semaines :

$$0,195 - 0,012 \text{ (arrosage et pluie)} = 0^{gr},183;$$

soit 5,3 centièmes.

Ou par kilogramme brut : 0gr,088 ;

Soit 9 centièmes.

Pot n° 52. *Luzerne.* La terre a fourni, pour 1 kilogramme sec :

	Azote.
	gr.
	1,0889
	1,1094
Moyenne......	1,0991

Azote nitrique............. .... Traces

Le poids initial de la terre, diminué de celui des matières minérales fixées sur la plante.

3510 — 64 = 3446 grammes.

Donc :

Azote final de la terre 3gr,788

La terre, envisagée isolément, a gagné en dix semaines :

0gr,346 — 0,025 (arrosage et pluie) = 0gr,321 ;

soit 9,4 centièmes.

Ou par kilogramme brut : 0gr,1257; soit 13 centièmes.

IV. — (A. 3°). *Composition finale des plantes.*

Pot n° 47. *Vesce.* Le 27 juillet on a récolté les plantes. On a trouvé :

	gr.
Plantes humides (partie aérienne)	74,0
Racines et débris divers	137,05
	211,05

	gr.	
Plantes sèches (partie aérienne)	20,75	(28,04 centièmes)
Racines et débris divers secs	110,2	(80,48 centièmes)
	132,95	

	Azote		
		en centièmes	
	en poids.	du poids total.	de la matière organique.
	gr.		
Plantes (partie aérienne)....	0,4864	2,35	2,70
Racines, etc................	0,4184	0,38	2,70
	0,9048		

	Matière organique		Cendres	
	en poids.	en centièmes.	en poids.	en centièmes.
	gr.		gr.	
Plantes (partie aérienne).	18,0	89,12	2,8	10,88
Racines, etc.............	17,0	15,54	93,2	84,46
	35,0		96,0	

Le poids absolu de l'azote dans la plante a quintuplé ; il est à peu près également réparti entre les racines et la partie aérienne.

Le poids de la matière organique a décuplé, avec une répartition analogue.

C'est le même rapport de l'azote à la matière organique que dans l'expérience faite sous abri, avec la même espèce.

Les considérations diverses auxquelles celle-ci a donné lieu sont donc pareilles (*voir* p. 263-264).

Pot n° 48. *Lupin*. Le 16 juillet, on fait la récolte.

On a trouvé 19 pieds, pesant :

	gr.
Plantes humides (partie aérienne)	116,25
Racines et débris, etc	144,1
	260,35

	gr.	
Plantes sèches (partie aérienne)	24,15	(20,77 centièmes)
Racines et débris secs, etc	118,15	(81,92 centièmes)
	142,3	

	Azote		
		en centièmes	
	en poids.	du poids total.	de la matière organique.
	gr.		
Plantes (partie aérienne)	0,2925	1,21	1,33
Racines, etc	0,2373	0,20	1,36
	0,5298		

	Matière organique		Cendres	
	en poids.	en centièmes.	en poids.	en centièmes.
	gr.		gr.	
Plantes (partie aérienne)	21,83	90,45	2,32	9,55
Racines, etc	17,45	14,64	100,7	85,36
	39,28		103,0	

L'azote de la plante s'est à peine accru, tandis que la matière organique a plus que quadruplé; relation analogue à celle du lupin développé sous abri (p. 265-266).

Le gain d'azote sur la terre est également faible.

Le gain d'azote sur la plante est réparti à peu près également entre les deux portions.

Lupin en pleine terre. — Il a paru intéressant de comparer le développement de la plante à celui du lupin semé en plein champ, dans la même terre, à la même époque (14 mai), et recueilli le 19 juin 1888 (trente-six jours). A cet effet, on a fait l'analyse de six pieds de lupin, qui ont fourni par simple arrachage :

6 pieds humides	39gr,55	
» secs	5gr,85	(14,79 centièmes)
Azote en centièmes	3,75	
Cendres	13,8	
Matière organique	86,2	

Le dosage direct du carbone dans la plante sèche a fourni 41,8 centièmes; c'est-à-dire, en le rapportant au poids de la matière organique, 47 centièmes.

Pour comparer ces résultats avec ceux obtenus en pots, il convient de les rapporter au poids d'un seul pied. On a dès lors :

	Poids sec.	Azote en poids.	Azote en cent.
	gr.	gr.	
1 graine	0,472	0,0242	5,1
1 pied arraché en pleine terre le 19 juin.	0,975	0,0366	3,76
1 pied en pot, le 27 juillet — partie aérienne	1,27	0,0191	1,21
1 pied en pot, le 27 juillet — partie souterraine	6,22	0,0125	0,20
	7,49	0,0316	

	Matière organique.	Cendres.	Centièmes.
	gr.	gr.	
1 graine	0,455	0,017	3,6
1 pied arraché en pleine terre, le 19 juin.	0,840	0,0135	13,8
1 pied en pot, le 27 juillet — partie aérienne	1,15	0,12	9,5
1 pied en pot, le 27 juillet — partie souterraine	0,86	5,3	85,4
	2,01	5,42	

Ces nombres ne sont pas absolument comparables, parce que les pieds développés en pleine terre ont été simplement arrachés, la portion la plus fine des racines étant demeurée en terre.

Le chevelu est d'ailleurs bien moins développé en pleine terre, où les racines plantées peuvent s'épanouir plus librement, que dans un pot, où elles sont limitées par les parois du vase. En outre, l'expérience faite en pleine terre porte sur une durée moitié moindre, sur un développement moins avancé de la plante et sur une répartition plus disséminée des pieds.

Malgré ces différences, la comparaison des résultats a beaucoup d'intérêt ; elle montre que l'enrichissement de la plante en azote, en pleine terre, n'a pas été beaucoup plus notable qu'en pot. En effet, cet élément s'est accru seulement de moitié en pleine terre, et d'un tiers en pot. La matière organique de la partie aérienne n'est pas non plus très différente dans les deux cas ; la racine n'ayant acquis qu'un poids relatif peu considérable en pleine terre. La matière organique totale elle-même n'a guère que doublé en pleine terre. Les cendres y sont également fort abondantes, à cette période de la végétation.

Tous ces nombres montrent comment le lupin, dans sa première période, vit avec peu d'activité, même en pleine terre, et fixe peu d'azote et de carbone (*voir* p. 266). Ce n'est que plus tard que son développement est susceptible de se compléter.

Mais cette période ultérieure n'a pu être étudiée en pot, l'espace du vase étant trop étroit pour le nombre des graines mises en expérience.

Pot n° 49. *Jarosse*. Récolte le 20 août.

On a trouvé :

	gr.
Plantes humides (partie aérienne)...............	59,0
Racines, etc......................................	217,7
	276,7

	gr.	
Plantes sèches (partie aérienne)..........	19,35	(32,79 centièmes)
Racines sèches............................	154,2	(70,83 centièmes)
	173,35	

	Azote		
		en centièmes	
	poids total.	du poids total.	de la matière organique.
	gr.		
Plantes (partie aérienne)....	0,2749	1,42	1,72
Racines, etc................	0,4209	0,22	2,64
	0,6958		

	Matière organique		Cendres	
	en poids.	en centièmes.	en poids.	en centièmes.
	gr.		gr.	
Plantes (partie aérienne).	16,0	82,65	3,35	17,35
Racines, etc.............	18,8	12,10	135,44	87,90
	34,8		138,79	

Le poids absolu de l'azote dans la plante a triplé, ayant passé de 0gr,233 à 0gr,696. Les racines en renferment près des deux tiers; cette répartition est analogue à celle de la jarosse du pot n° 42 (p. 267).

D'autre part, le poids de la matière organique a octuplé, et elle est à peu près également répartie entre la partie aérienne et la partie souterraine.

La richesse relative en azote dans la racine, rapportée à la matière organique, est presque double de ce qu'elle est dans la partie aérienne.

Le gain d'azote a porté à la fois sur la terre et sur la plante; mais principalement sur celle-ci, et surtout sur sa portion souterraine, laquelle a emmagasiné d'ailleurs un trentième de la matière minérale de la terre.

Tous ces résultats sont analogues à ceux qui ont été observés sous abri : ce qui leur donne le contrôle d'une expérience comparative.

Pot n° 50. *Medicago lupulina* et divers. Récoltée le 21 septembre. On a trouvé :

	gr.
Plantes humides (partie aérienne)	98,3
Racines, débris, etc.	440,7
	539,0

	gr.	
Plantes sèches (partie aérienne)	28,7	(29,2 centièmes)
Racines, débris secs	349,1	(79,2 centièmes)
	377,8	

	Azote		
		en centièmes	
	poids absolu.	du poids total.	de la matière organique.
	gr.		
Plantes (partie aérienne)	0,7612	2,65	3,09
Racines, etc.	0,5997	0,175	1,50
	1,3609		

	Matière organique		Cendres	
	poids total.	en centièmes.	poids total.	en centièmes.
	gr.		gr.	
Plantes (partie aérienne)	24,6	86,0	4,1	14,0
Racines, etc.	24,9	7,4	324,2	92,6
	49,5		328,3	

Le poids absolu de l'azote de la plante est devenu quinze fois aussi considérable, ayant passé de $0^{gr},091$ à $1^{gr},361$. Il est réparti presque également entre les portions aérienne et souterraine.

La matière organique est devenue quarante fois aussi grande, et elle est répartie de même.

La richesse relative en azote, rapportée à la matière organique, est double dans la portion aérienne.

Le gain d'azote porte à la fois sur la terre et sur la plante,

principalement sur cette dernière ; la proportion de matière minérale fixée sur les racines formant presque le dixième de la terre.

Voir l'expérience parallèle sous abri, Pot n° 43, p. 268.

Pot n° 51. *Trèfle*. Récolté le 30 juillet. On a trouvé :

	gr.
Plantes humides (partie aérienne)	99,8
Racines, débris, etc	113,3
	213,1

	gr.	
Plantes sèches (partie aérienne)	42,55	(42,65 centièmes)
Racines, débris secs	89,15	(78,68 centièmes)
	131,70	

	Azote		
		en centièmes	
	poids absolu.	du poids total.	de la matière organique.
	gr.		
Plantes (partie aérienne)	0,1562	0,37	0,92
Racines, etc	0,1622	0,48	2,17
	0,3184		

	Matière organique		Cendres	
	poids total.	en centièmes.	poids total.	en centièmes.
	gr.		gr.	
Plantes (partie aérienne).	17,02	40,0	25,53	60,0
Racines, etc	7,43	8,2	81,72	91,8
	24,45		107,25	

Le poids absolu de l'azote de la plante a presque triplé ($0^{gr},318$, au lieu de $0^{gr},118$) ; il est également réparti entre les deux portions.

La matière organique est devenue seize fois aussi forte.

La richesse relative en azote, rapportée à la matière organique, est plus que double dans les racines. Le gain d'azote a porté surtout sur la terre.

Voir l'expérience pot n° 44, p. 269.

Pot n° 52. *Luzerne*. Première récolte, 6 août ; deuxième et dernière récolte, le 22 septembre. On a trouvé :

	gr.
Plante humide (partie aérienne) (1re récolte)....	18,50
Plante humide » (2e récolte).....	36,7
Racines, débris, etc..........................	131,9
	187,10

	gr.	
Plante sèche (partie aérienne) (1re récolte).	5,5	(29,7 centièmes)
Plante sèche » (2e récolte)..	12,4	(33,78 centièmes)
Racines, débris secs, etc..................	86,9	(65,88 centièmes)
	104,8	

	Azote		
		en centièmes	
	poids total.	du poids total.	de la matière organique.
Plante (partie aérienne)	gr.		
(1re récolte).	0,1135	2,06	2,4
» (2e récolte).	0,3579	2,9	3,4
Racines, etc..............	0,7299	0,84	2,9
	1,2013		

	Matière organique		Cendres	
	poids total.	en centièmes.	poids total.	en centièmes.
Plante (partie aérienne)	gr.		gr.	
(1re récolte).	4,8	87,4	0,70	12,6
» (2e récolte).	10,6	85,6	1,82	14,4
Racines, etc	25,4	29,2	61,5	70,8
	40,8		64,02	

Le poids absolu de l'azote de la plante est devenu 15 fois aussi fort, ayant passé de 0gr,084 à 1gr,201. Il est triple, dans la deuxième récolte, de ce qu'il est dans la première; enfin il est double, dans les racines, du poids de l'azote contenu dans la partie aérienne de la deuxième récolte.

La matière organique est devenue 30 fois aussi considérable.

La richesse relative en azote, rapportée à la matière organique, est la plus forte dans la deuxième récolte ; elle n'y surpasse pas beaucoup, d'ailleurs, celle des racines.

On peut comparer ces résultats avec ceux de l'expérience parallèle faite sous abri (pot n° 45, p. 270).

Elles conduisent à insister pareillement sur la diversité du développement dans les espèces de Légumineuses.

V. — (A. 3°.) *Équation générale de l'azote dans les cultures exécutées à l'air libre, avec la terre de l'enclos* (0gr974 d'azote par kilogramme sec), *à partir du 11 mai 1888.*

(Surface des pots : 282 centimètres carrés. Profondeur de la terre : 18 centimètres environ.)

	Pot n° 47. Vesce.	Pot n° 48. Lupin.	Pot n° 49. Jarosse.	Pot n° 50. *Medicago lupulina.*	Pot n° 51. Trèfle.	Pot n° 52. Luzerne.
Durée de la culture............	11 semaines.	10 semaines.	14 semaines.	19 semaines.	11 semaines.	19 semaines.
	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
État initial. Terre............	3,4197	3,4197	3,4197	3,4197	3,4197	3,4197
État initial. Graine...........	0,1890	0,4850	0,2328	0,0911	0,1181	0,0845
État initial. Arrosage et pluie.	0,0123	0,0123	0,0183	0,0246	0,0123	0,0246
	3,6210	3,9170	3,6708	3,5354	3,5501	3,5298
État final... Terre............	3,607	3,396	3,524	3,564	3,615	3,788
État final... Plante...........	0,905	0,530	0,696	1,361	0,318	1,201
Somme.........	4,512	3,926	4,220	4,925	3,933	4 989
	3,621	3,917	3,671	3,535	3,550	3,530
Gain............	0,891	0,009	0,551	0,390	0,383	1,459
	c'est-à-dire 24,6 cent.	c'est-à-dire 0,23 cent.	c'est-à-dire 15 cent.	c'est-à-dire 11 cent.	c'est-à-dire 10,8 cent.	c'est-à-dire 41,3 cent.

Toutes ces expériences ont donné un gain. Le lupin seul a été à la limite, s'étant mal développé, ainsi qu'il résulte des analyses ci-dessus (*voir* aussi p. 266, 283 et 285).

Le gain surpasse en général celui observé en vase clos (p. 253); mais il est du même ordre que pour les expériences faites sous abri, les apports dus à la pluie ayant peu modifié le phénomène (p. 272). Le gain a été maximum avec la luzerne, sans abri (41,3 centièmes) comme sous abri (37,5 centièmes).

Les observations générales relatives au gain fait par la terre, par la plante, enfin par les racines, sont semblables à celles de la page 273.

B. — TERRE DE LA TERRASSE AVEC VÉGÉTATION

B. 1° — Sous cloche.

Les dispositions adoptées ont été décrites en parlant de la terre précédente (p. 193, 195, et A. 1°, p. 236). La terre actuelle en diffère, parce que sa richesse en azote est presque double ($1^{gr},655$ au kilogramme, au lieu de $0^{gr},974$); la richesse en carbone organique ($22^{gr},3$ par kilogramme) et en matière organique (50 grammes) est analogue, etc. (*voir* p. 174-176 et 196).

Deux expériences ont été faites : le n° 71 avec le lupin, le n° 72 avec la vesce, parallèlement avec le n° 70, où l'on a opéré sur la terre nue, également sous cloche.

Pot n° 71. *Lupin*. Du 12 mai au 11 juin 1888.

	Terre....................	3 600 grammes.
c'est-à-dire	Terre sèche.............	3 385 —
	Eau.....................	215 —
		3 600 grammes.

Elle renfermait, par kilogramme sec :

Azote.................................. 1gr,6555

soit pour la terre du pot entier :

Azote.................................. 5gr,6025

On y a trouvé, à ce moment :

Azote nitrique total.................. 0gr,0737

On y a semé 20 graines de lupin, pesant :

10gr,16 humide; 9gr,5, sec,

et renfermant :

	gr.
Azote total....	0,4908
Carbone......	4,25
Matière organique	9,20
Cendres.........	0,350

On a donc, pour l'azote initial du pot tout entier, terre et graines réunies :

5,6025 + 0,4908 = 6gr,0933.

Voici la marche de l'expérience :

Le 18 mai, la plante commence à sortir de terre. On introduit un peu d'acide carbonique.

Le 21, la terre est soulevée et cassée par places; les feuilles apparaissent.

Le 25 mai, plante en bon état, haute de 12 à 15 centimètres; 3 feuilles vertes, 17 pieds bien venus, 1 chétif.

Le 31, tiges très allongées. L'analyse des gaz donne, en centièmes du volume :

CO^2........................	5
O..................	17
Az..........	78

Le 2 juin, il y a 5 feuilles vertes. On introduit 2 litres d'acide carbonique.

Le 4 juin, les plantes dépérissent.

Le 8, moisissures; plusieurs pieds retombent sans force.

L'atmosphère renferme, en centièmes du volume :

CO^2	10
O	14
Az	76

Le 11 juin, les plantes étant mourantes, on arrête l'expérience.

La terre contient à ce moment, pour 1 kilogramme sec :

	gr.
Azote	1,7844
»	1,7921
Moyenne	1,7882

La terre de la totalité du pot renferme alors, en déduisant les matières minérales de la plante :

3 385 — 7,5 (cendres de la plante) = 3 377gr,5

et elle contient en azote un poids total de :

6gr,027 (azote final de la terre).

L'azote nitrique final est 0gr,1594, c'est-à-dire qu'il a doublé. Il y a donc eu nitrification notable.

On a trouvé à la fin 17 pieds, tant morts que retombants, pesant :

	Poids humide.	Poids sec.
	gr.	gr.
Partie aérienne	38,90	4,80 (12,34 centièmes)
Racines, débris, etc.	10,20	7,85 (76,94 centièmes)
	49,10	12,65

Ils contiennent :

	Azote total.	Azote en centièmes du poids total.	Azote en centièmes de la matière organique.
	gr.		
Plantes (partie aérienne) ...	0,3435	7,2	9,5
Racines, etc................	0,0888	1,13	5,9
	0,4323		

	Matière organique en poids.	Matière organique en centièmes.	Cendres en poids.	Cendres en centièmes.
	gr.		gr.	
Plantes (partie aérienne).	3,6	75,7	1,2	24,3
Racines, etc.............	1,55	20,0	6,3	80,0
	5,15		7,5	

Le poids total de l'azote final est dès lors :

	gr.
Terre.................................	6,027
Plante................................	0,432
	6,459
Le poids initial étant	6,093
Il y a gain absolu sur l'azote...........	0,366

soit, 5,7 centièmes pour le système complet.

Ce gain a porté entièrement sur la terre, qui a gagné 0gr,425.

C'est-à-dire 7,6 centièmes pour le poids total.

Et 8 centièmes pour 1 kilogramme de terre sèche.

Mais la plante a perdu 0gr,0585.

Soit un huitième de son azote initial.

Elle a perdu aussi près de la moitié de sa matière organique : ce qui explique l'enrichissement de l'atmosphère final en acide carbonique, dont la proportion a été trouvée à la fin à peu près double de celle que l'on avait introduite *voir* p. 242 et 245).

En tout cas, il y a eu gain d'azote sur la terre, précisément

comme avec la terre nue (p. 199 et 200); ce qui montre bien que l'azote est fixé sur la terre, avant de passer à la plante ; ce dernier passage ayant lieu seulement pendant la période ultérieure de la végétation. Mais celle-ci, au début, porte uniquement sur les matériaux primitifs de la graine.

Pot n° 72. *Vesce.* Du 12 mai au 1er juillet 1888.

On avait ensemencé d'abord avec des graines de luzerne ; mais celles-ci ne s'étant pas développées, le 22 mai, on a ouvert la cloche et on a semé de nouveau des graines de vesce.

La terre initiale pesait : 3kg,791 ; c'est-à-dire :

	kg.
Terre sèche	3,385
Eau	0,406
	3,791

Elle renfermait par kilogramme sec : 1gr,6555 d'azote ; c'est-à-dire, pour la terre du pot entier : 5gr,6025 d'azote.

On y a trouvé, à ce moment initial :

Azote nitrique total	0gr,0737

On a semé d'abord des graines de luzerne (750 environ), pesant à l'état sec 1gr,39 : puis, ainsi qu'il vient d'être dit, des graines de vesce (93), pesant à l'état sec 3gr,60.

L'ensemble pesait 5gr,99 (sec) et contenait :

	En poids.	En centièmes.
	gr.	
Azote	0,2735	5,5
Matière organique	4,68	93,6
Cendres	0,316	6,4

On a donc, dans ce pot :

Azote initial du système..... 5,6025 + 0,2725 = 5gr,876

Voici la marche de l'expérience :

Le 16 mai, les plantes (luzerne) percent la terre. On introduit 200 centimètres cubes d'acide carbonique.

Le 18 mai, elles se couchent. 1 litre d'acide carbonique.

Le 21 mai, elles sont à peu près mortes.

Le 22, on ouvre la cloche; on sème de la vesce.

Le 26, la germination se manifeste

Le 31, longues tiges avec folioles vertes. On introduit 1 litre d'acide carbonique.

Le 8 juin, les feuilles ont grandi; elles s'appliquent contre le verre, du côté éclairé. La plante va bien.

Composition des gaz de l'atmosphère, en centièmes du volume :

CO^2......	5,5
O........................	19,0
Az..................	75,5

Le 19 juin, quelques feuilles jaunissent.

Composition des gaz, en centièmes du volume :

CO^2............	5,0
O.........................	18,5
Az......................	76,5

Ainsi l'acide carbonique n'a pas été absorbé; ou bien il y a eu compensation en ce qui le concerne (*voir* p. 242).

Le 25 juin, les moisissures apparaissent.

Le 28, dépérissement.

Le 1er juillet, on met fin à l'expérience. Les feuilles sont restées très petites.

La terre renferme alors, pour 1 kilogramme sec :

	gr.
Azote.	1,8276
»	1,8328
Moyenne.........	1,8302

ce qui fait un gain apparent de :

$$1,8302 - 1,6555 = 0^{gr},1747,$$

ou 10,6 centièmes.

Le gain réel s'évalue d'après le poids de la terre, cendres des plantes déduites, soit 3385 — 16,4 = 3568^{gr},6 ; ce qui fait pour l'azote réel ; 6^{gr},165. En en retranchant 5^{gr},6025, il reste un gain de 0^{gr},653.

C'est-à-dire 10 centièmes d'azote gagnés par la terre.

L'azote nitrique final monte à 0^{gr},1492, c'est-à-dire qu'il a doublé.

Voici maintenant ce qui est relatif au végétal :

	Humide.	Sec.
	gr.	
Plantes (partie aérienne)...	14,70	5,90 (40,1 centièmes)
Racines, etc...	16,70	14,90 (89,2 centièmes)
	31,40	20,80

	Azote total.	Azote en centièmes du poids total.	Azote en centièmes de la matière organique.
	gr.		
Plantes (partie aérienne)....	0,1368	2,32	4,9
Racines, etc................	0,0896	0,60	5,6
	0,2264		

	Matière organique en poids.	Matière organique en centièmes.	Cendres en poids.	Cendres en centièmes.
	gr.		gr.	
Plantes (partie aérienne).	2,8	46,0	3,1	34,0
Racines, etc..	1,6	11,8	13,3	88,2
	4,4		16,4	

Le poids total de l'azote final du système est dès lors :

	gr.
Terre..................................	6,165
Plantes	0,226
	6,391
Azote initial..........................	5,876
Gain....................	0,515

soit : 8,8 centièmes.

Ce gain a porté entièrement sur la terre.

Les plantes, au contraire, ont perdu

$$0,2735 - 0,2264 = 0^{gr},0471;$$

soit un sixième de l'azote initial; résultat semblable à celui du pot n° 71 (p. 294). Les plantes ont perdu aussi une certaine partie de leur matière organique (soit $0^{gr},28$).

Ainsi la terre gagne, même en présence de la plante, lorsque celle-ci ne réussit pas à dépasser un certain terme de son développement, terme auquel elle commencerait à prendre de l'azote à la terre et du carbone à l'acide carbonique de l'atmosphère. Ce gain coïncide avec l'existence d'une nitrification sensible, précisément comme avec la même terre nue (p. 199 et 293).

(B. 1°.) *Équation générale de l'azote, dans les cultures exécutées sous cloche, avec la terre de la terrasse* ($1^{gr},655$ azote par kilogramme sec), *à partir du* 12 *mai* 1888.

(Surface des pots, 282 centim. carrés; profondeur, 18 centim. environ.

Durée	6 semaines	7 semaines
	Pot n° 71. Lupin.	Pot n° 72. Vesce.
	gr.	gr.
État initial. Terre	5,6025	5,6025
État initial. Graine	0,4908	0,2735
Somme	6,0933	5,8760
État final. Terre	6,027	6,165
État final. Plante	0,432	0,226
Somme	6,459	6,391
Gain	0,366	0,515
C'est-à-dire	5,7 centièmes	8,8 centièmes

Il y a gain dans les deux cas, et ce gain a eu lieu par la

terre ; la plante n'ayant pas atteint dans son développement la limite à laquelle elle commence à fixer l'azote et le carbone tirés du dehors (*voir* p. 245 et 246).

B. 2° — Terre de la terrasse, avec végétation, à l'air libre, sous abri transparent.

Mêmes dispositions qu'aux p. 202 et 254.

Six expériences (pots 57 à 62), avec la vesce, le lupin, la jarosse, le *Medicago lupulina*, le trèfle et la luzerne.

Elles ont été commencées toutes le 12 mai et terminées à des époques différentes, comprises entre le 19 juillet et le 15 octobre (*voir* A. 2°, p. 255 et 257).

I. — (B. 2°.) ÉTAT INITIAL

Terre. — Chaque pot renfermait, au début, 3kg791 de terre, c'est-à-dire :

	kg.
Terre sèche	3,385
Eau	0,406 (12 centièmes)

Cette terre contient :

Azote (1gr,655 par kilogramme)	5gr,6025

On trouve :

Azote nitrique	0gr,0737

L'incinération de cette terre laisse 92,8 centièmes ; elle renfermait par kilogramme : C organique = 22gr,3, c'est-à-dire, matière organique : 50 grammes environ.

Le *poids et la composition des graines* sont les mêmes que dans le tableau A. 3° (p. 276), à des variantes insignifiantes près.

Le tableau suivant indique la *durée* de chaque expérience et la *dose d'azote ammoniacal apportée par les eaux d'arrosage :*

	gr.
Pot nº 57. Vesce (du 12 mai au 26 juillet, 75 jours).......	0,0030
Pot nº 58. Lupin (du 12 mai au 21 juillet, 70 jours).......	0,0030
Pot nº 59. Jarosse (du 12 mai au 24 août, 103 jours)......	0,0057
Pot nº 60. *Medicago* (du 12 mai au 15 octobre, 155 jours).	0,0096
Pot nº 61. Trèfle (du 12 mai au 19 juillet, 68 jours)......	0,0030
Pot nº 62. Luzerne (du 12 mai au 27 septembre, 137 jours).	0,0096

(B. 2°.) État final

II. — (B. 2.) *État des plantes au moment où l'on a mis fin aux expériences.*

Pot nº 57. *Vesce.* Plantes en bon état; quelques pieds en fleurs; racines puissantes et couvertes de nombreux tubercules.

Pot nº 58. *Lupin.* 16 pieds en bon état, dont 14 en fleurs; la floraison touche à son terme. Quelques feuilles jaunes dans le bas. Tubercules des racines peu nombreux.

Pot nº 59. *Jarosse.* Plantes jaunissantes. Racines pourvues de tubercules.

Pot nº 60. *Medicago lupulina* et *Anthyllis vulneraria* mélangées; les premières avec fleurs et graines. Racines vigoureuses, fines, pourvues de tubercules. On a fait deux récoltes : l'une le 8 août, l'autre le 15 octobre.

Pot nº 61. *Trèfle.* Pas de fleurs. Feuilles jaunes à la partie inférieure. Tubercules sur les racines.

Pot nº 62. *Luzerne.* Plantes en bon état, sans fleurs. Racines pivotantes, très puissantes, chargées de tubercules. On a fait deux récoltes, dont la première le 8 août; la deuxième le 27 septembre.

III. — (B. 2°.) *Composition finale de la terre.*

Pot n° 57. *Vesce.* La terre a fourni, pour 1 kilogramme sec :

	Azote
	gr.
	1,7746
	1,7592
Moyenne......	1,7669

Gain apparent pour 1 kilogramme : 0gr,1118;
Ou 6,8 centièmes.

Azote nitrique pour la totalité du pot........ 0gr,0013

Les nitrates subsistent donc, quoique consommés presque entièrement par la végétation.

Pour évaluer le gain réel en azote fait par la terre, il faut déduire les matières minérales fixées sur la plante, ce qui ramène le poids final de la terre à :

3 385 — 125 = 3 260 grammes,

renfermant 5gr,762 azote. Le gain réel de la terre (arrosage, pluie déduits) est donc :

5 762 — 5,6025 — 0,003 (arrosage) = 0gr,1565;

soit 2,7 centièmes.

Pot n° 58. *Lupin.* La terre a fourni, pour 1 kilogramme sec:

	Azote.
	gr.
	1,7820
	1,7665
Moyenne......	1,7742

Gain apparent pour 1 kilogramme : 0gr,1191 ; ou 7,2 centièmes.

Azote nitrique final pour la totalité. 0gr,0549

soit les deux tiers des nitrates initiaux.

La terre finale représente :

3385 — 27 = 3358 grammes,

renfermant 5gr,960 d'azote. Le gain réel de la terre (arrosage déduit) est :

5 960 — 5,6025 — 0,003 (arrosage) = 0gr,3545,

soit 6,3 centièmes.

Pot n° 59. *Jarosse*. La terre a fourni, pour 1 kilogramme sec :

	Azote.
	gr.
	1,7451
	1,7551
Moyenne......	1,7501

Gain apparent pour 1 kilogramme : 0gr,095 ;

Soit 5,1 centièmes.

Il ne reste que des traces de nitrates.

La terre finale représente :

3385 — 42 = 3343 grammes,

renfermant 5gr,851 d'azote.

Gain réel de la terre.

5 851 — 5,6015 — 0,0057 (arrosage) = 0gr,2428,

soit 4,3 centièmes.

Pot n° 60. *Medicago lupulina* et *Vulnéraire*. La terre a fourni pour 1 kilogramme sec :

	Azote.
	gr.
	1,8688
	1,8976
Moyenne......	1,8832

Gain apparent pour 1 kilogramme : 0gr,2281 ;

Ou 13,8 centièmes.

Azote nitrique final........................ Traces.

La terre finale représente :

3 385 — 10 = 3 375 grammes,

renfermant : Azote = 6^{gr},350.

Gain réel de la terre :

6 350 — 5,6025 — 0,0096 (arrosage) = 0^{gr},738,

soit 13,2 centièmes.

Pot n° 61. *Trèfle.* La terre a fourni pour 1 kilogramme sec :

	Azote.
	gr.
	1,8300
	1,8300
Moyenne......	1,8300

Gain apparent pour 1 kilogramme : 0^{gr},1745 ;

Ou 10,6 centièmes.

Il reste :

Azote nitrique pour la totalité................ 0^{gr},0191

ce qui montre que la végétation n'a pas fait disparaître la totalité des nitrates.

La terre finale représente :

3385 — 21 = 3 364 grammes,

renfermant : Azote = 6^{gr},1558.

Gain réel de la terre :

6,1558 — 5,6025 — 0,0030 (arrosage) = 0^{gr},5503,

soit 9,8 centièmes.

Pot n° 62. *Luzerne*. La terre a fourni, pour 1 kilogramme sec :

	Azote.
	gr.
	1,9146
	1,9354
Moyenne......	1,9250

Gain apparent pour 1 kilogramme: 0gr,2695;

Ou 16,3 centièmes.

Il reste :

Azote nitrique..... .... 0gr,0035

La terre finale représente:

$$3\,385 - 34 = 3\,351 \text{ grammes,}$$

renfermant: Azote = 6gr,450.

Gain réel de la terre :

$$6,450 - 5,6025 - 0,0096 \text{ (arrosage)} = 0^{gr},838,$$

soit 15 centièmes.

IV. — (B. 2°.) *Composition finale des plantes.*

Pot n° 57. *Vesce*. Le 26 juillet, récolte.

On a trouvé:

		Sèches.
	gr.	gr.
Plantes humides (partie aérienne).	68,45	23,45 (34,25 centièmes)
Racines, débris, etc.............	153,15	131,50 (85,86 centièmes)
	221,60	154,95

	Azote		
		en centièmes	
	en poids.	du poids total.	de la matière organique.
	gr.		
Plantes (partie aérienne)....	0,3757	1,60	2,6
Racines, etc.........	0,4320	0,33	2,8
	0,8077		

	Matière organique		Cendres	
	en poids.	en centièmes.	en poids.	en centièmes
	gr.		gr.	
Plantes (partie aérienne).	14,5	70,4	8,9	29,6
Racines, etc.	15,5	11,7	116,0	88,3
	30,0		124,9	

Ce poids absolu de l'azote dans la plante a passé de 0gr,180 à 0gr,808; c'est-à-dire qu'il a plus que quadruplé : il est réparti presque également entre la portion aérienne et la portion souterraine.

Le poids de la matière organique est devenu 9 fois aussi grand.

Ce sont à peu près les mêmes rapports que dans les expériences n° 40 (p. 264) et n° 47 (p. 283) de la série A, auxquelles je renverrai pour les autres déductions.

Pot n° 58. *Lupin*. Le 21 juillet, récolte.

On a trouvé :

		Sèches.	
	gr.	gr.	
Plantes humides (partie aérienne).	113,4	24,7	(21,8 centièmes)
Racines, etc.	46,05	30,0	(65,1 centièmes)
	159,45	54,7	

	Azote		
		en centièmes	
	en poids.	du poids total.	de la matière organique.
	gr.		
Plantes (partie aérienne)	0,3622	1,47	1,74
Racines, etc.	0,1461	0,41	2,0
	0,5083		

	Matière organique		Cendres	
	en poids.	en centièmes.	en poids.	en centièmes.
	gr.		gr.	
Plantes (partie aérienne).	20,8	84,1	4,0	15,9
Racines, etc.	7,4	24,6	22,6	75,4
	28,2		26,6	

Le poids absolu de l'azote dans la plante a à peine aug-

menté ($0^{gr},508$, au lieu de $0^{gr},485$) ; la partie souterraine n'en contenant que le quart à peu près. La matière organique a cependant triplé.

Ces résultats sont analogues à ceux du n° 41 (p. 265-266), où l'azote de la plante avait même diminué, et du n° 48 (p. 283-285) de la série A, où l'azote s'était légèrement accru. On y renverra le lecteur.

Pot n° 59. *Jarosse*. Récolte le 24 août.

On a trouvé :

		Sèches.	
	gr.	gr.	
Plantes humides (partie aérienne).	52,6	21,5	(40,9 centièmes)
Racines, etc.	79,5	59,4	(74,7 centièmes)
	132,1	80,9	

	Azote		
		en centièmes	
	en poids.	du poids total.	de la matière organique.
	gr.		
Plantes (partie aérienne)...	0,2041	0,95	1,28
Racines, etc.	0,3104	0,52	1,36
	0,5145		

	Matière organique		Cendres	
	en poids.	en centièmes.	en poids.	en centièmes.
	gr.		gr.	
Plantes (partie aérienne).	16,0	74,2	5,5	25,8
Racines, etc.	22,9	38,6	36,5	61,4
	38,9		42,0	

Le poids absolu de l'azote dans la plante a plus que doublé, ayant passé de $0^{gr},233$ à $0^{gr},514$; la portion souterraine en renferme les 3/5. Le poids de la matière organique est devenu 9 fois aussi grand ; elle prédomine aussi pour la portion souterraine.

On comparera ces résultats avec ceux du n° 42 (p. 267) et du n° 49 (p. 286) de la série A, qui sont analogues.

Pot n° 60. *Medicago lupulina*, *Vulnéraire*, etc. Première récolte le 8 août ; seconde récolte le 15 octobre.

On a trouvé :

		Sèche.	
Plantes humides (partie aérienne),	gr.	gr.	
1re récolte.	38,25	12,15	(31,8 centièmes)
» » 2e récolte.	78,55	23,3	(29,6 centièmes)
Racines, etc.	31,40	18,1	(57,6 centièmes)
	148,20	53,85	

	Azote		
		en centièmes	
	en poids.	du poids total.	de la matière organique.
Plantes, etc. (part. aérienne),	gr.		
1re récolte.	0,2427	2,0	2,3
» 2e récolte.	0,7469	3,2	3,7
Racines, etc	0,3474	1,9	3,0
	1,3390		

	Matière organique		Cendres	
	en poids.	en centièmes.	en poids.	en centièmes.
Plantes (partie aérienne),	gr.		gr.	
(1re récolte).	10,5	86,6	1,6	13,4
» (2e récolte).	21,4	91,9	1,9	8,1
Racines, etc.	11,4	63,9	6,7	36,1
	43,3		10,2	

Le poids absolu de l'azote dans la plante a passé de $0^{gr},091$ à $1^{gr},34$, c'est-à-dire qu'il est devenu 15 fois aussi fort; celui de la matière organique a passé de $1^{gr},3$ à $4^{gr},33$, suivant la même proportion.

L'azote de la partie souterraine forme le tiers des deux récoltes réunies pour la partie aérienne.

Ces résultats sont du même ordre que ceux du n° 43 (p. 268) et du n° 50 (p. 287) de la série A, auxquels on renverra le lecteur pour plus de développements.

Pot n° 61. *Trèfle*. Récolte le 19 juillet.

On a trouvé :

		Sèche.
	gr.	gr.
Plantes humides (partie aérienne).	62,2	21,05 (33,8 centièmes)
Racines, etc	25,8	14,25 (55,2 centièmes)
	88,0	35,3

	Azote		
		en centièmes	
	en poids.	du poids total.	de la matière organique.
	gr.		
Plantes (partie aérienne)	0,1191	0,57	1,12
Racines, etc	0,0640	0,45	1,7
	0,1831		

	Matière organique		Cendres	
	en poids.	en centièmes.	en poids.	en centièmes.
	gr.		gr.	
Plantes (partie aérienne).	10,6	50,4	10,4	49,6
Racines, etc	3,7	26,4	10,5	73,6
	14,1		20,9	

Le poids absolu de l'azote dans la plante a passé de $0^{gr},118$ à $0^{gr},183$; c'est-à-dire qu'il a augmenté seulement de moitié.

Le poids de la matière organique a monté de $1^{gr},4$ à $14^{gr},1$, c'est-à-dire qu'il a décuplé.

La répartition de l'azote est celle d'un tiers dans la racine, des deux tiers dans la partie aérienne.

Ces résultats sont analogues à ceux de la série A, nos 44 (p. 269) et 51 (p. 288). On y renverra pour plus de détails.

Pot 62. *Luzerne*. Première récolte le 8 août; deuxième récolte le 27 septembre.

On a trouvé :

Plantes humides (partie aérienne),	gr.	gr.
1re récolte.	21,05	7,55 (34,9 centièmes)
» 2e récolte.	41,9	12,6 (30,1 »)
Racines, etc	92,75	48,05 (51,8 »)
	155,70	68,20

	Azote		
		en centièmes	
	poids absolu.	du poids total.	de la matière organique.
Plantes (partie aérienne),	gr.		
1re récolte.	0,1286	1,7	2,1
» 2e récolte.	0,3948	3,1	4,1
Racines, etc.	0,4142	0,86	1,5
	0,9376		

	Matière organique		Cendres	
	en poids	en centièmes.	en poids.	en centièmes.
Plantes (partie aérienne),	gr.		gr.	
1re récolte.	6,15	81,5	1,4	18,5
» etc., 2e récolte....	9,5	75,2	13,1	24,8
Racines, etc.	28,15	58,6	19,9	41,4
	43,80		34,4	

Le poids absolu de l'azote de la plante a plus que décuplé.

Le poids de la matière organique est devenu 25 fois aussi fort.

Les racines renferment près de la moitié de l'azote total. Résultats analogues à ceux de la série A, n° 45 (p. 271) et n° 52 (p. 289). On y renverra le lecteur, en rappelant également les diversités considérables observées dans le mode de développement des espèces de Légumineuses.

V. — (B. 2°.) *Équation générale de l'azote dans les cultures exécutées à l'air libre, sous abri transparent, avec la terre de la terrasse* (1gr,655 d'azote par kilogramme sec), *à partir du* 12 *mai* 1888.

Surface des pots : 282 centimètres carrés. Profondeur 18 centimètres environ.

		Pot n° 57. Vesce.	Pot n° 58. Lupin.	Pot n° 59. Jarosse.	Pot n° 60. *Medicago lupulina.*	Pot n° 61. Trèfle.	Pot n° 62. Luzerne.
Durée de la culture		11 semaines.	10 semaines.	15 semaines.	23 semaines.	12 semaines.	20 semaines.
		gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
État initial	Terre	5,6025	5,6025	5,6025	5,6025	5,6025	5,6025
	Graine	0,1890	0,4850	0,2328	0,0911	0,1181	0,0845
	Arrosage	0,0030	0,0030	0,0057	0,0096	0,0030	0,0096
	Somme	5,7945	6,0905	5,8410	5,7032	5,7236	5,6966
État final	Terre	5,7620	5,9600	5,8510	6,3500	6,1558	6,4500
	Plante	0,8077	0,5083	0,5145	1,3390	0,1831	0,9376
	Somme	6,5697	6,4683	6,3655	7,6890	6,3389	7,3876
	Gain	0,7752	0,3778	0,5245	1,9858	0,6153	1,6910
		c'est-à-dire 13,4 cent.	c'est-à-dire 6,2 cent.	c'est-à-dire 9 cent.	c'est-à-dire 34,8 cent.	c'est-à-dire 10,8 cent.	c'est-à-dire 28,4 cent.

Il y a eu fixation d'azote dans tous les cas ; elle a eu lieu à la fois par la terre et sur la plante.

Le lupin est toujours celui qui fixe le moins d'azote, la luzerne donne lieu au contraire à une très forte fixation d'azote.

On s'en référera encore aux conclusions des séries A. 2° (p. 273) et A. 3° (p. 291).

B. 3° — Terre de la terrasse, avec végétation à l'air libre, sans abri.

Mêmes dispositions qu'aux pages 208 et 274. 6 expériences (pots nos 64 à 69), avec les mêmes plantes, commencées le 12 mai et terminées à des époques comprises entre le 19 juillet et le 20 octobre.

I. — (B. 3°.) État initial

Terre. — Chaque pot renfermait $3^{kg},791$ de terre, c'est-à-dire :

	kg.
Terre sèche	3,385
Eau	0,406
	3,791

Il contenait :

Azote ($1^{gr},635$ **par kilogramme**) .... $5^{gr},6025$

On y a trouvé :

Azote nitrique .... $0^{gr},0737$

L'incinération laisse $92^{gr},8$ centièmes.

La terre contient par kilogramme : $22^{gr},3$ de carbone organique, soit environ 50 grammes de matière organique.

Le poids et la composition des *graines* sont les mêmes que dans le tableau (A. 3°) de la page 276.

Le tableau suivant indique la *durée* de chaque expérience et la dose d'azote apportée, tant par les *arrosages* que par la pluie (*voir* p. 209, 212 et 276).

	Durée.	Arrosages.	Pluie.	Somme.	Eau de drainage (perte d'az. nitrique).
	Du 12 mai au	gr.	gr.	gr.	
Pot n° 64. Vesce	26 juillet.	0,0015	0,0108	0,0123	»
Pot n° 65. Lupin.....	21 juillet.	0,0015	0,0108	0,0123	»
Pot n° 66. Jarosse....	24 août..	0,0042	0,0147	0,0189	»
Pot n° 67. Vulnéraire.	20 oct...	0,0096	0,0171	0,0267	»
Pot n° 68. Trèfle.....	19 juillet.	0,0015	0,0108	0,0123	»
Pot n° 69. Luzerne...	22 sept..	0,0160	0,0096	0,0256	—0gr,0196

(B. 3°.) ÉTAT FINAL

II. — (B. 3°.) *État des plantes au moment où l'on a mis fin aux expériences.*

Pot n° 64. *Vesce.* Plantes en bon état. Quelques pieds en fleurs. Racines puissantes avec nombreux tubercules.

Pot n° 65. *Lupin.* Plantes en bon état. 13 pieds en fleurs sur 16; fin de la floraison. Quelques feuilles jaunes dans le bas.

Pot n° 66. *Jarosse.* Plantes jaunissantes. Tubercules sur les racines.

Pot n° 67. 1 pied de *Vulnéraire* assez fort et 2 autres pieds vigoureux, 1 pied de plantain, 1 pied de mouron rouge. Pas de *Medicago lupulina.* Racines de vulnéraire puissantes et garnies de tubercules.

Pot n° 68. *Trèfle.* Pas de fleurs. Plantes jaunes à la partie inférieure. Beaucoup de tubercules sur les racines.

Pot n° 69. *Luzerne.* Le 8 août, on coupe la partie verte avec des ciseaux. Le 27 septembre, on met fin à l'expérience.

Plantes en bon état. 1 pied en fleurs. Racines pivotantes, très puissantes, avec nombreux tubercules.

III. — (B. 3°.) *Composition finale de la terre.*

Pot n° 64. *Vesce.* La terre a fourni, pour 1 kilogramme sec :

	Azote.
	gr
	1,7529
	1,7634
Moyenne......	1,7581

Gain apparent pour un kilogramme : $0^{gr},1726$, ou 6,2 centièmes.

Azote nitrique pour la totalité........ $0^{gr},0017$

Les nitrates ont donc été consommés presque entièrement par la plante.

Le poids initial de la terre sèche, diminué des matières minérales fixées sur la plante, est :

$$3\,385 - 112 = 3\,273 \text{ grammes},$$

renfermant $5^{gr},757$ d'azote.

Le gain réel de la terre en azote, en déduisant en outre l'arrosage et la pluie, est :

$$5,757 - 5,6025 - 0,0123 \text{ (arrosage)} = 0^{gr},142,$$

soit 2,5 centièmes.

Pot n° 65. *Lupin.* La terre a fourni, pour 1 kilogramme sec :

	Azote.
	gr.
	1,7940
	1,7888
Moyenne......	1,7914

Gain apparent pour 1 kilogramme : 0gr,136 :
Ou 8,2 centièmes.

Azote nitrique pour la totalité........ 0gr,0109

Les nitrates ont donc diminué, sans être entièrement absorbés par la végétation.

Le poids final de la terre est :

3 385 — 18 = 3 367 grammes,

renfermant 6gr,032 d'azote.

Gain réel de la terre :

6,023 — 5,6025 — 0,0123 (arrosage) = 0gr,417

ou 7,5 centièmes.

Pot n° 60. *Jarosse*. La terre a fourni, pour 1 kilogramme sec :

	Azote.
	gr.
	1,7526
	1,7425
Moyenne......	1,7475

Gain apparent pour 1 kilogramme : 0gr,092 ; ou 5,6 centièmes.

Azote nitrique pour la totalité.... 0gr,0020

c'est-à-dire que les nitrates ont presque disparu.

Le poids final de la terre doit être réduit ici dans une forte proportion, à cause de la dose considérable de matières minérales fixées sur les racines. On le trouve en effet égal à :

3385 — 349 = 3036 grammes,

renfermant 5gr,306 d'azote.

La terre semblerait donc avoir perdu :

5,306 — 5,6025 — 0,0189 (arrosage) = 0gr,315,

ou 5,6 centièmes.

Mais cette perte provient de ce qu'une dose énorme de matière minérale, plus d'un dixième du poids initial de la terre, est demeurée incorporée aux racines. En réalité, il y a eu un gain notable d'azote sur l'ensemble (un dixième), comme on le montrera tout à l'heure. La terre même s'est enrichie en azote, quant à la proportion relative de cet élément, ainsi qu'il vient d'être dit

Pot n° 17. *Vulnéraire* et divers. La terre a fourni, pour 1 kilogramme sec :

	Azote.
	gr.
	1,7625
	1,7470
Moyenne......	1,7547

Gain apparent pour 1 kilogramme : $0^{gr},200$, soit 11,5 centièmes.

Azote nitrique pour la totalité. ...... $0^{gr},0098$

Poids final de la terre :

$$3\,385 - 12 = 3\,375 \text{ grammes,}$$

renfermant $5^{gr},921$ d'azote.

La terre a donc gagné réellement :

$$5,921 - 5,602 - 0,021 \text{ (arrosage)} = 0^{gr},292,$$

ou 5,2 centièmes.

Pot n° 68. *Trèfle*. La terre a fourni, pour 1 kilogramme sec :

	Azote.
	gr.
	1,7665
	1,7455
Moyenne......	1,7560

Gain apparent pour 1 kilogramme : $0^{gr},101$, soit 6,2 centièmes.

Azote nitrique pour la totalité : $0^{gr},0067$.

C'est-à-dire que les nitrates ont été en grande partie consommés.

Poids final de la terre :

3385 — 11 = 3374 grammes,

renfermant : $5^{gr},924$ d'azote.

La terre a donc gagné :

5,924 — 5,602 — 0,012 (arrosage) = $0^{gr},310$,

ou 5,5 centièmes.

Pot n° 69. *Luzerne*. La terre a fourni, pour 1 kilogramme sec :

	Azote.
	gr.
	1,8186
	1,8186
Moyenne......	1,8186

Gain apparent pour 1 kilogramme : $0^{gr},1631$, ou 9,9 centièmes.

Azote nitrique pour la totalité : $0^{gr},0073$.

Poids final de la terre :

3385 — 20 = 3365 grammes,

renfermant $6^{gr},1197$ d'azote.

La terre a donc gagné :

6,120 — 5,602 — 0,026 (arrosage) = $0^{gr},492$,

ou 8,8 centièmes.

Il convient d'ajouter qu'une forte pluie, survenue à la fin de juin, a donné lieu à une eau de drainage fort abondante, laquelle renfermait, d'après dosage :

$0^{gr},0196$ d'azote,

dose double des apports dus à la pluie pendant toute la durée de l'expérience. Il en sera tenu compte plus loin.

IV. — (B. 3°.) *Composition finale des plantes.*

Pot n° 64. *Vesce.* Le 26 juillet, récolte. On a trouvé :

		Sèche.	
	gr.	gr.	
Plantes humides (partie aérienne)..	100,7	27,05	(26,8 centièmes)
Racines, etc.	157,1	122,7	(78,2 centièmes)
	257,8	149,75	

	Azote		
		en centièmes	
	en poids.	du poids total.	de la matière organique.
	gr.		
Plantes (partie aérienne)....	0,4849	1,8	2,5
Racines, etc.	0,4859	0,38	2,5
	0,9718		

	Matière organique		Cendres	
	en poids.	en centièmes.	en poids.	en centièmes.
	gr.		gr.	
Plantes (partie aérienne).	19,3	71,6	7,7	18,5
Racines, etc.	18,4	14,9	104,3	85,1
	37,8		112,0	

Le poids absolu de l'azote a quintuplé, ayant passé de 0gr,189 à 0gr,978 ; et la matière organique est devenue 11 fois aussi considérable. La répartition de l'un et de l'autre est à peu près la même, entre la partie aérienne de la plante et la partie souterraine.

Ces rapports sont fort voisins de ceux des expériences n° 40 (p. 263) et n° 47 (p. 283) de la série A, et n° 57 (p. 305) de la série B. On y renverra le lecteur.

Pot n° 65. *Lupin.* Le 21 juillet, récolte.

		Sèche.	
	gr.	gr.	
Plantes humides (partie aérienne).	123,95	27,1	(21,9 centièmes)
Racines, etc.	40,1	23,15	(57,7 centièmes)
	164,05	50,25	

	Azote en poids.	Azote en centièmes du poids total.	Azote en centièmes de la matière organique.
	gr.		
Plantes (partie aérienne)....	0,2748	1,0	1,2
Racines, etc	0,1116	0,49	1,28
	0,3865		

	Matière organique en poids.	Matière organique en centièmes.	Cendres en poids.	Cendres en centièmes.
	gr.		gr.	
Plantes (partie aérienne).	23,0	84,9	4,1	15,1
Racines, etc............	8,7	35,5	14,4	64,5
	31,7		18,5	

Le poids absolu de l'azote a *diminué*, étant tombé de 0gr,485 à 0gr,3865; mais celui de la matière organique a plus que triplé. Le lupin n° 41 a déjà donné lieu à une remarque pareille (p. 265).

Voir aussi les nos 48 (p. 283) et 58 (p. 306).

Pot n° 66. *Jarosse*. Récolte le 24 août. On a trouvé :

		Sèche.	
	gr.	gr.	
Plantes humides (partie aérienne).	37,2	19,75	(53,1 centièmes)
Racines, etc	479,8	389,4	(81,1 centièmes)
	517,0	409,15	

	Azote en poids.	Azote en centièmes du poids total.	Azote en centièmes de la matière organique.
	gr.		
Plantes partie aérienne)....	0,2633	1,3	1,6
Racines, etc..............	0,9264	0,24	2,1
	1,1897		

	Matière organique en poids.	Matière organique en centièmes.	Cendres en poids.	Cendres en centièmes.
	gr.		gr.	
Plantes (partie aérienne).	16,4	83,3	3,3	16,7
Racines, etc............	43,3	11,4	346,1	88,6
	59,7		349,4	

Le poids absolu de l'azote a quintuplé, ayant passé de 0gr,233 à 1gr,190; celui de la matière organique est devenu 13 fois aussi considérable. L'azote des racines est presque quadruple de la partie aérienne. Des rapports analogues caractérisent la même plante développée dans d'autres terrains, n° 42 (p. 267); n° 49 (p. 283-285) et n° 59 (p. 306). On renverra le lecteur à ces articles pour la discussion complète des résultats.

Pot n° 67. *Vulnéraire* et divers. Récolte le 20 octobre. On a trouvé :

		Sèches.	
	gr.	gr.	
Plantes humides (partie aérienne).	140,75	23,0	(16,3 centièmes)
Racines, etc.	16,65	12,95	(77,8 centièmes)
	157,40	35,95	

	Azote		
		en centièmes	
	en poids.	du poids total.	de la matière organique.
	gr.		
Plantes (partie aérienne)...	0,5773	2,5	3,1
Racines, etc.	0,1584	1,2	2,75
	0,7357		

	Matière organique		Cendres	
	en poids.	en centièmes.	en poids.	en centièmes.
	gr.		gr.	
Plantes (partie aérienne).	18,5	80,6	4,5	19,4
Racines, etc.	5,8	45,7	7,1	54,3
	24,3		11,6	

Le poids absolu de l'azote a octuplé, ayant passé de 0gr,091 à 0gr,736; celui de la matière organique est devenu 20 fois aussi fort. L'azote des racines n'est que le tiers de celui de la partie aérienne.

Voir les pots n° 43 (p. 268); n° 50 (p. 287) et n° 60 (p. 307) pour la discussion complète des résultats.

Pot n° 68. *Trèfle*. Récolte le 19 juillet.

On a trouvé :

		Sèches.
	gr.	gr.
Plantes humides (partie aérienne).	63,95	15,25 (23,8 centièmes)
Racines, etc.	22,70	10,80 (47,6 centièmes
	85,66	26,05

	Azote		
		en centièmes	
	en poids.	du poids total.	de la matière organique.
	gr.		
Plantes (partie aérienne)	0,1144	0,75	1,0
Racines, etc.	0,0649	0,6	1,8
	0,1793		

	Matière organique		Cendres	
	en poids.	en centièmes.	en poids.	en centièmes.
	gr.		gr.	
Plantes (partie aérienne).	11,9	77,9	3,35	22,1
Racines, etc.	3,6	33,4	7,2	66,6
	15,4		10,55	

Le poids absolu de l'azote n'a augmenté que de moitié, ayant passé de $0^{gr},118$ à $0^{gr},179$; tandis que la matière organique est devenue douze fois aussi forte. L'azote dans la partie souterraine est la moitié de l'azote dans la partie aérienne.

Voir aussi les pots n° 44 (p. 269), n° 51 (p. 288) et n° 61 (p. 308), pour la discussion complète des résultats.

Pot n° 69. *Luzerne*. 1re récolte, le 8 août; 2e récolte, le 27 septembre.

On a trouvé :

		Sèches.
	gr.	gr.
Plantes (partie aérienne) (1re récolte).	22,0	7,30 (33,2 centièmes)
» (2e récolte).	58,6	19,2 (32,8 centièmes)
Racines, etc.	76,1	42,8 (56,2 centièmes)
	156,7	69,3

	Azote		
		en centièmes	
	poids absolu.	du poids total.	de la matière organique.
Plantes (partie aérienne),	gr.		
(1re récolte).	0,2274	3,1	3,5
» (2e récolte).	0,4658	2,4	4,1
Racines, etc.	0,5413	1,3	1,7
	1,2345		

	Matière organique		Cendres	
	en poids.	en centièmes.	en poids.	en centièmes.
Plantes (partie aérienne).	gr.		gr.	
(1re récolte).	6,5	89,5	0,8	10,5
» (2e récolte).	11,9	61,9	7,3	38,1
Racines, etc.	31,4	73,5	11,4	26,5
	49,8		19,5	

Le poids absolu de l'azote est devenu quinze fois aussi fort, ayant passé de 0gr,083 à 1gr,234 ; celui de la matière organique, près de cinquante fois aussi considérable.

L'azote de la partie souterraine est presque égal à celui de la partie aérienne. L'une et l'autre sont fort riches d'ailleurs en azote.

Ces résultats sont analogues à ceux des pots n° 45 (p. 271), n° 52 (p. 289) et n° 62 (p. 309).

On voit par là que la végétation d'une même espèce conserve ses caractères généraux, soit sous l'abri, soit à l'air libre, c'est-à-dire indépendamment de l'influence des eaux météoriques. Elle les conserve également dans des terrains inégalement riches en azote, tels que ceux de l'enclos (pots n° 45 et n° 52) et de la terrasse (pots n° 62 et n° 69).

IV. — (B. 3°.) *Équation générale de l'azote, dans les cultures exécutées à l'air libre, sans abri, avec la terre de la terrasse* (1gr,655 d'azote par kilogramme sec), *à partir du* 12 *mai* 1888.

Surface des pots : 282 centimètres carrés. Profondeur : 18 centimètres environ.

		Pot n° 64. Vesce.	Pot n° 65. Lupin.	Pot n° 66. Jarosse.	Pot n° 67. *Medicago lupulina.*	Pot n° 68. Trèfle.	Pot n° 69. Luzerne.
Durée de la culture		11 semaines.	10 semaines.	14 semaines.	23 semaines.	11 semaines.	18 semaines.
		gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
État initial	Terre	5,6025	5,6025	5,6025	5,6025	5,6025	5,6025
	Graine	0,1890	0,4850	0,2328	0,0011	0,1181	0,0845
	Pluie, arr.	0,0123	0,0123	0,0189	0,0267	0,0123	0,0256
	Somme	5,8038	6,0998	5,8542	5,7203	5,7329	5,7126
État final	Terre	5,7570	6,0320	5,3060	5,9210	5,9240	6,1197
	Plante	0,971	0,3865	1,1897	0,7357	0,1793	1,2345
							0,0196 grain.
	Somme	6,7288	6,4185	6,5957	6,6567	6,1033	7,3738
	Gain	0,9250	0,3187	0,6415	0,9364	0,3704	1,6612
		c'est-à-dire 15,9 cent.	c'est-à-dire 5,2 cent.	c'est-à-dire 10,9 cent.	c'est-à-dire 16,4 cent.	c'est-à-dire 6,5 cent.	c'est-à-dire 29,4 cent.

Il y a eu fixation d'azote dans tous les cas, en général, par la terre et par la plante pareillement.

Le lupin donne toujours le plus petit résultat, et la luzerne, le maximum (*voir* p. 311).

C. — Terre du parc avec végétation

C. — 1° Sous cloche.

Cette terre renferme $1^{gr},744$ d'azote par kilogramme, et $43^{gr},5$ de carbone organique, c'est-à-dire environ 90 grammes de matière organique. Son incinération laisse 908 grammes de résidu fixe.

Les dispositions décrites précédemment (p. 193-195, 237-238, 241) ont été observées dans deux expériences (pots n°s 37 et 38). Une autre (pot n° 73) a été exécutée sans introduire d'acide carbonique; une autre (pot n° 75), en faisant circuler dans la cloche un courant d'air débarrassé de toutes traces d'ammoniaque et de poussières.

Tous les essais précédents ont été exécutés dans des cloches assez vastes pour que l'atmosphère intérieure conservât une grande richesse en oxygène jusqu'à la fin de l'expérience.

Cette condition est indispensable, comme le montre un autre essai (n° 74) exécuté en présence d'une dose d'oxygène insuffisante, et telle qu'elle s'est trouvée entièrement absorbée à la fin ; elle a même été remplacée en partie par de l'hydrogène, témoin et preuve des fermentations réductrices. On avait opéré cette fois dans une allonge hermétiquement close et disposée de façon à mesurer les changements de volume et de composition de l'atmosphère gazeuse.

Ces diverses expériences vont être décrites.

Pot n° 37. — Lupin.

Du 11 mai au 24 juin 1888 (44 jours).

Terre employée : 3417 grammes, renfermant :

Terre sèche	3106 grammes.
Eau	311 —
	3417 grammes.

Cette terre renfermait, par kilogramme sec : 1gr,744 d'azote; soit pour le pot entier : 5gr,4181.

Celui-ci contenait :

Azote nitrique total	0gr,0521

On a semé 20 graines de lupin, pesant :

	gr.
Humides	10,00
A l'état sec	9,30

et renfermant :

	gr.
Azote total	0,478
Carbone	4,102
Matière organique	8,9
Cendres	0,341

On a donc, en ajoutant la terre aux graines :

Azote initial	0gr,8961

Voici la marche de l'expérience :

18 mai. Les cotylédons apparaissent. On introduit 2 litres d'acide carbonique.

21 mai. Les feuilles apparaissent.

23 mai. L'atmosphère renferme, en centièmes du volume :

CO^2	10
Air	10
Azote	72

Cette dose d'acide carbonique est supérieure à celle qui a été introduite : ce qui répond à une exhalaison de ce gaz pendant la germination.

25 mai. Plantes vertes, en bon état. 2 feuilles visibles. Tiges longues de 10 centimètres. Les 20 pieds ont poussé ; un seul est en retard sur les autre.

27 mai. Plantes languissantes, par suite d'une action trop forte du soleil.

L'atmosphère contient, en centièmes du volume :

CO^2	10

31 mai. 16 plantes en bon état ; feuilles vertes, avec poils visibles. Un deuxième bourgeon commence à évoluer.

Composition des gaz, en centièmes du volume :

CO^2	11
O	14
Azote	75

2 juin. La plupart des tiges portent 3 feuilles; plusieurs 4. Cependant quelques-unes de ces feuilles sont retombantes. On trouve

CO^2	10

dans l'atmosphère.

8 juin. Plantes en bon état, moins vigoureuses qu'en plein air.

L'atmosphère contient, en centièmes du volume :

CO^2	9,5
O	15,0
Azote	75,5

15 juin. Il se développe des moisissures.

19 juin. Même état.

Composition de l'atmosphère :

CO^2	1
O	19
Azote	80

Cette composition montre que la plante commence à exercer sa fonction chlorophyllienne ; ce qu'elle ne faisait pas au début. On introduit une certaine dose d'acide carbonique.

Cependant les moisissures augmentent ; la plante dépérit. Le 24 juin, elle est flétrie. On met fin à l'expérience. Il y a 19 pieds développés.

La terre contient alors, pour 1 kilogramme sec :

	Azote.
	gr.
	1,9072
	1,8866
	1,8866
Moyenne	1,8935

Comme contrôle, on a dosé l'azote, après avoir dépouillé la terre de nitrates et autres sels solubles, par un lavage méthodique. Elle a fourni ensuite :

Azote 1gr,8788

ce qui concorde.

On a trouvé encore :

Azote nitrique 0gr,1088

dose double de la proportion initiale : il y a donc eu nitrification.

La terre de la totalité du pot renfermait (1), pour

3106 — 10 = 3096 grammes.

(1) En estimant les cendres des plantes, qui n'ont pas été déterminées, à un poids proportionnel à celui de l'expérience n° 71 ; soit 10 grammes environ ; correction insignifiante d'ailleurs.

D'où l'on déduit :

Azote total de la terre.................	5gr,850

Les 19 pieds pesaient :

	gr.
Plantes humides (partie aérienne).......	21,05
Racines et débris.......................	13,15
	34,20

	gr.	
Plantes sèches (partie aérienne)......	5,75	(27,1 centièmes).
Racines et débris secs................	12,0	(91,2 centièmes).
	17,75	

Ils renfermaient :

	Azote. gr.	
Plantes (partie aérienne)............	0,4437	(7,7 centièmes).
Racines, etc.........................	0,0612	(0,5 centième).
Somme..........	0,5049	

On conclut de ces nombres le poids total de l'azote final :

	gr.
Terre..................................	5,850
Plante.................................	0,505
Somme...........	6,355
Poids initial..............................	5,896
Gain..............	0,459

soit 7,8 centièmes.

Ce gain a porté surtout sur la terre, qui a gagné 0gr,432 ; ou 8 centièmes pour le poids total (8,6 centièmes pour 1 kilogramme sec).

La plante elle-même a gagné 0gr,0269 ;

Soit 5,5 centièmes de son azote initial.

Ce gain indique que la plante avait commencé à vivre aux dépens des éléments extérieurs ; comme l'indiquent également la disparition de l'acide carbonique et l'accroissement de la dose d'oxygène observés le 19 juin. Malheureusement sa vita-

lité n'était pas suffisante pour que son développement ait pu se poursuivre.

En tout cas, il y a eu un gain d'azote sur la terre, comme on l'avait observé sur la même terre nue (*voir* le n° 36, p. 201) et sur la terre de l'enclos (n° 54, p. 244), ou de la terrasse (n° 71, p. 294); ces deux dernières avec végétation de la même espèce.

Pot n° 38. — *Luzerne.*

Du 11 mai au 3 octobre (145 jours).

Cette expérience a été commencée en même temps que la précédente, et poursuivie de même, avec addition d'acide carbonique, pendant les trois premières semaines. A ce moment, la surface du pot était envahie par les moisissures; cependant quelques petits pieds de luzerne continuaient à vivre. On a abandonné le système à lui-même, sans manipulation nouvelle. Au bout de deux mois, les moisissures avaient à peu près disparu, et les pieds de luzerne avaient repris quelque vigueur. On a laissé le tout jusqu'au 3 octobre, sans y rien introduire. A ce moment, on a mis fin à l'expérience. La végétation était demeurée faible, les plantes plus petites; cependant leurs racines portaient des tubercules. Dans le fond du pot, on a trouvé une seconde couche de fines racines munies de tubercules, lesquelles semblaient provenir de la première période de végétation qui a précédé les moisissures. En somme, cette culture est demeurée chétive.

Voici les résultats des analyses :

Terre initiale................. 3417 grammes.

soit :

	gr.
Terre sèche..........................	3106
Eau..................................	311
	3417

Elle contenait, pour 1 kilogramme sec :

Azote.................................. 1gr,744

soit pour la totalité du pot : 5gr,418.

On avait encore :

Azote nitrique initial................ 0gr,0845

L'azote nitrique final ayant été trouvé égal à 0gr,1748, on voit qu'il y a eu nitrification marquée pendant cette expérience.

Les graines de luzerne pesaient 1gr,39 (sec), renfermant :

Azote................................ 0gr,0845

En réunissant la terre et la plante, on a pour la somme de l'azote initial : 5gr,5025.

A la fin, la terre contenait pour 1 kilogramme sec :

	Azote.
	gr.
	1,8622
	1,8571
Moyenne..........	1,8518

Elle avait donc gagné, par kilogramme : 0gr,113 ;

Soit 6,5 centièmes.

Pour la totalité de la terre, en négligeant les cendres des plantes, dont le poids est insignifiant, l'azote était 5gr,768;

Ce qui fait un gain de 0gr,350 ;

Soit 6,5 centièmes également.

Venons à la plante.

	gr
La plante pesait humide (partie aérienne).	1,95
Les racines et débris....................	2,87
	4,82

	gr.	
Plante sèche (partie aérienne)..........	0,41	(21,1 centièmes).
Racines et débris......................	2,40	(83,6 centièmes).
	2,81	

On a trouvé :

	Azote gr.
Plante (partie aérienne)................	0,0165
Racine, etc.............................	0,009
Somme...............	0,0255

On voit que l'azote de la plante avait diminué ; ce qui montre que les conditions du système actuel ont été peu favorables à la végétation.

Pour l'ensemble de la plante et de la terre on a :

	gr.
Azote initial...........................	5,7935
Azote final.............................	5,5025
Gain..............	0,2910

soit 5,3 centièmes ; c'est-à-dire toujours un gain d'azote. (*Voir* aussi n° 36, p. 201, terre nue).

Pot n° 73. — Lupin.

Du 9 juin au 16 juillet (trente-sept jours).

Cette expérience a été faite avec un autre echantillon de la terre du parc, de composition fort voisine (1gr,711 azote, par kilogramme), mais non identique (*voir* p. 177). On n'a pas introduit dans la cloche d'acide carbonique, afin de mieux suivre les premières phases du phénomène initial et le dépérissement ultérieur de la plante.

Au début. Terre à 10 centièmes d'eau additionnels, 3781 grammes, représentant à l'état sec 3437 grammes. Elle renfermait :

Azote total.......................... 5gr,881

On y a trouvé :

Azote nitrique........................ 0gr,0305

On y a planté 10 graines de lupin, pesant à l'état sec 4gr,71 et contenant :

Azote................................ 0gr,242

L'azote initial du système était donc : 6gr,123.

Le 15 juin, les cotylédons rompent la terre.

Le 19 juin, plantes hautes de 5 centimètres, sans feuilles.

Atmosphère intérieure, en centièmes du volume :

CO^2	7,0
O	15,3
Az	77,7

Le 21 juin, les feuilles apparaissent. Le 24, elles sont en voie de développement.

Le 28, bon état de la plante.

Le 3 juillet, assez bon état.

Le 6 juillet, les plantes se ratatinent.

Le 9 juillet, elles sont envahies par les moisissures.

Le 15 juillet, on met fin à l'essai. Il y avait 9 pieds développés.

La terre renferme à la fin, pour 1 kilogramme sec :

	Azote.
	gr.
	1,7864
	1,8125
Moyenne..........	1,7994

Elle a donc gagné, par kilogramme :

1,799 — 1,711 = 0gr,088,

ou 5,1 centièmes.

Pour la totalité de la terre, en déduisant la matière minérale fixée sur la plante, soit 3437 — 8 = 3429 grammes, l'azote monte à 6gr,171.

Le gain réel de la terre est dès lors : 0gr,290;

Ou 4,9 centièmes.

L'azote nitrique final a été trouvé de 0gr,1747, au lieu de 0gr,0305 au début. Il y a donc eu nitrification notable, c'est-à-dire action oxydante active dans le sol, malgré les moisissures.

On a récolté 9 pieds, pesant :

	gr.
Plantes humides (partie aérienne)	19,70
Racines et débris	10,65
	30,35

	gr.	
Plantes sèches (partie aérienne)	3,60	(18,2 centièmes).
Racines et débris secs	8,75	(82,1 centièmes).
	12,35	

	Azote.		
		en centièmes	
	poids total.	du poids total.	de la matière organique.
	gr.		
Plantes (partie aérienne)	0,1127	3,1	3,5
Racines, etc	0,0236	0,27	1,6
	0,1363		

	Matière organique.		Cendres.	
	en poids.	en centièmes.	en poids.	en centièmes.
	gr.		gr.	
Plantes (partie aérienne)	3,21	89,2	0,39	10,8
Racines, etc	1,46	16,3	7,29	83,7
	4,67		7,68	

L'azote des graines a diminué de près de moitié dans la plante totale; la matière organique ayant à peu près conservé son poids. Cette dernière conservation de poids résulte d'une compensation, puisqu'il s'est dégagé de l'acide carbonique à un certain moment (7 en volume, ou 3 litres environ).

Pendant cette expérience, une partie de l'eau de la terre s'était condensée sur les parois de la cloche. On a récolté à la fin 50 centimètres cubes environ de liquide, non sans en perdre une quantité considérable, l'appareil n'ayant pas été disposé pour cette récolte. Cette eau contenait sous forme d'azote ammoniacal : $0^{gr},0022$. Une telle formation d'ammoniaque est caractéristique. Elle a dû contribuer à l'arrêt de la végétation. Elle coïncide d'ailleurs en fait avec la nitrification de la terre; à moins qu'elle réponde à une période différente dans les états successifs du système, s'étant produite seulement vers la fin de la végétation : ce qui paraît plus vraisemblable.

En réunissant ces diverses données, on a, pour l'azote final de la totalité :

	gr.	
Azote de la terre	6,171	
— des plantes	0,1363	
— de l'eau condensée	0,0022	(au moins)
Somme	6,3095	
Azote initial	6,1230	
Gain	0,1865	

soit 3,05 centièmes.

Le gain est réel; il a porté entièrement sur la terre.

N° 74. *Expérience faite avec absorption totale de l'oxygène en vase clos.*

Le genre d'expériences dont nous nous occupons exige, pour donner lieu à une fixation d'azote, que l'atmosphère de la cloche soit assez étendue pour rester riche en oxygène jusqu'à la fin; car, si l'oxygène se trouvait entièrement consommé, on serait exposé à voir apparaître les ferments anaérobies, avec dégagement d'hydrogène et perte d'azote.

C'est ce qui est arrivé dans une expérience faite en vase parfaitement clos, et où la pression des gaz a été mesurée

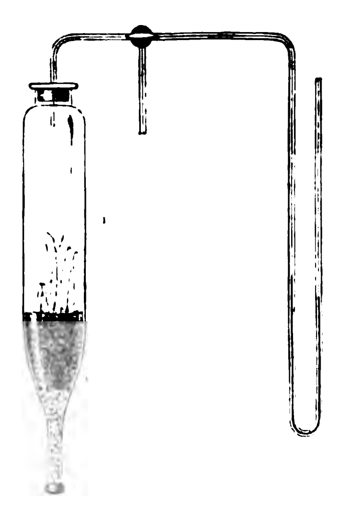


Fig. 4.

rigoureusement, à l'aide d'un manomètre latéral, au début et à la fin de l'expérience (*fig.* 4).

Pour faire ces deux mesures, on a pris soin de plonger entièrement l'allonge dans un grand vase plein d'eau et maintenu à température constante.

Voici la disposition de cette expérience. L'allonge contenait 300 grammes de terre, $2^{lit},5$ d'air, 3 graines de lupin. On a commencé le 18 juin. La germination a été tardive. Cependant, le 5 juillet, deux des graines avaient fourni des plantes en bon état; mais le 12, elles étaient flétries. Le 27 juillet (trente-neuf jours), on a mesuré la pression finale et arrêté l'expérience.

La pression finale des gaz intérieurs, ramenée par le calcul à 0° et à l'état sec, était de $0^{m},7468$, au lieu de $0^{m},7422$, pression initiale: cela fait un excès de $0^{m},0037$; soit, en centièmes, $0^{gr},768$, ou un accroissement de 1/130 sur la pression initiale.

On a extrait une partie des gaz avec la pompe à mercure, par le tube intermédiaire, pour en faire l'analyse.

Ces gaz ne contenaient plus trace d'oxygène. On y a absorbé l'acide carbonique; puis on les a mélangés avec de l'oxygène, avec addition de gaz tonnant, afin d'y déterminer par combustion le volume de l'hydrogène, s'il y avait lieu. On a trouvé, sur 100 volumes secs du gaz final de l'allonge :

CO^2	13,50
H	6,10
Az	80,40

La pression ayant changé pendant le cours de l'expérience, il est nécessaire de ramener ces nombres à la pression initiale. En supposant que le gaz initial sec occupe 100 volumes, on aura pour le gaz final, sous la même pression :

CO^2	13,60
H	6,15
Az	81,02
	100,77

Le gaz initial renfermant $79^{vol},07$ d'azote et le gaz final $81^{vol},02$, on voit qu'il s'est dégagé $1^{vol},95$ d'azote. Mais ce dégagement a été accompagné par un développement d'hydrogène, dû aux fermentations secondaires, et par une disparition totale de l'oxygène.

Cette expérience montre donc par une nouvelle preuve que l'absorption de l'azote par la terre exige la présence de l'oxygène libre, en excès (ce volume, p. 139).

Pot n° 75. Lupin.

Du 9 juin au 16 août (68 jours). Sous cloche.

Cette expérience, dirigée en sens inverse de la précédente,

c'est-à-dire avec un excès d'oxygène, a eu pour objet d'examiner l'influence d'un courant d'air modéré. A cet effet, on a fait passer tous les jours lentement, c'est-à-dire en dix ou douze heures, 50 litres d'air dans la cloche, à l'aide d'un aspirateur. Cet air était pris au dehors, à une certaine distance du sol, et dépouillé avec soin de toute trace d'ammoniaque et de poussières, au moyen d'un flacon laveur à acide sulfurique étendu (1), suivi d'un tube en U rempli de pierre ponce imbibée d'acide sulfurique concentré. Ce dernier acide ne tarde pas à se diluer, à cause de l'absorption de l'humidité; mais il n'en arrête pas moins les poussières de l'air.

Un système semblable permettait de doser l'ammoniaque dans les gaz, à leur sortie de la cloche.

A partir du 9 juillet, on a introduit chaque jour 1 litre d'acide carbonique dans la cloche, par une tubulure distincte; ce gaz étant entraîné d'ailleurs pendant le cours de la journée par le courant gazeux. Dans ces conditions, les vapeurs des composés volatils émis par les plantes, sont entraînées à mesure, quoique lentement : leur action est donc restreinte, sinon tout à fait annulée.

Le 25 juillet, la terre semblant un peu sèche, on a introduit dans la cloche 100 centimètres cubes d'eau distillée.

Voici la marche de la végétation pendant cette expérience :

Le 15 juin, la germination se manifeste par la cassure de la terre.

Le 19, 8 graines avec cotylédons apparaissent.

Le 24, il y a des feuilles.

Le 6 juillet, tout va bien.

Le 16 juillet, bien.

(1) Il contenait 10 centimètres cubes d'acide renfermant $2^{gr},45$ SO^4H^2 par litre ; soit $0^{gr},0245$, équivalant à $0^{gr},007$ d'azote.

Le 12 août, feuilles mortes nombreuses. Quelques rares moisissures.

On arrête l'expérience le 16 août.

A ce moment, il avait passé dans la cloche 3 400 litres d'air.

On trouve dans l'acide sulfurique, à l'entrée, une trace d'azote ammoniacal (0mg,07). La ponce sulfurique du tube consécutif n'en contient pas la moindre trace. L'ammoniaque a donc été complètement arrêtée, à l'entrée, dès le premier flacon laveur.

Dans l'acide sulfurique étendu, placé à la sortie, on a trouvé 0mg,05 d'azote ammoniacal. Ce résultat prouve que la plante et la terre ont émis de l'ammoniaque pendant la végétation. La plante n'a donc pas été capable d'en dépouiller à mesure l'atmosphère qui l'entourait.

La terre, au début, pesait 3 781 grammes; elle renfermait 10 centièmes d'eau, en plus de 100 parties de terre sèche, c'est-à-dire qu'elle pesait sèche : 3 437 grammes.

	gr.
L'azote dans la terre initiale (1gr,711 au kil. sec), pour 3 437 grammes était de..	5,881
Dans les graines (10 graines = 4gr,72)....	0,243
Somme................	6,124

On a encore trouvé :

	gr.
Azote nitrique initial..................	6,0305
— — final....................	0,1007

Il y a donc eu nitrification.

En ce qui touche l'azote total, la terre, à la fin, contenait, pour 1 kilogramme sec :

	Azote. gr.
	1,9150
	1,8996
Moyenne......	1.9073

Elle a donc gagné, par kilogramme, 0gr,196 ;

Soit 11,5 centièmes.

L'azote, rapporté au poids de la terre finale (matière minérale des plantes déduite), soit 3437 — 5 = 3432 grammes, est 6gr,546.

Le gain réel de la terre totale est donc : 0gr,665 ;

Soit 11,3 centièmes.

Venons aux plantes.

	Humides.	Secs.
8 pieds ont été récoltés pesant	gr.	gr.
(partie aérienne).............	32,20	4,80 (14,19 centièmes)
Leurs racines et débris..........	11,40	5,40 (47,4 centièmes)
	43,60	10,20

	Azote		
		en centièmes	
	Poids absolu.	du poids total.	de la matière organique.
	gr.		
Plantes (partie aérienne)....	0,1855	3,9	4,6
Racines, etc..............	0,0670	0,12	0,5
	0,2525		

	Matière organique		Cendres	
	en poids.	en centièmes.	en poids.	en centièmes.
	gr.		gr.	
Plantes (partie aérienne).	4,1	86,0	0,7	14,0
Racines.................	1,3	24,5	4,1	75,5
	5,4		4,8	

La plante a conservé son azote, avec un léger gain (0gr,0095). Elle a aussi un peu gagné en matière organique. Somme toute, elle s'est mal développée. En définitive, on a :

		gr.
Azote total du système final.	Terre..........	6,546
	Plante..........	0,2525
		6,7985
L'azote du système initial étant.....		6,124
On trouve un gain......		0,6745

soit 11 centièmes, sur la totalité.

(C. 1°.) *Équation générale de l'azote dans les cultures exécutées sous cloche, avec la terre du parc* ($1^{gr},744$ par kilogramme sec), *à partir du* 9 *mai* 1888).

Surface du pot : 282 centim. carrés. — Profondeur : 18 centim. environ.

		N° 37. Lupin.	N° 38. Luzerne.	N° 73. Lupin, sans CO^2.	N° 75. Lupin, courant d'air.
Durée		6 semaines	16 semaines	6 semaines	10 semaines
		gr.	gr.	gr.	gr.
État initial.	Terre..	5,4181	5,4181	5,881	5,881
	Graine.	0,4780	0,0845	0,242	0,243
Somme....		5,8961	5,5026	6,123	6,124
État final..	Terre..	5,850	5,768	6,171	6,546
	Plante.	0,505	0,0255	0,136	0,2525
		»	»	0,002 (1)	»
Somme....		6,355	5,7935	6,309	6,7985
Gain.......		0,459	0,291	0,1865	0,6745
C'est-à-dire........		7,8 cent.	6,3 cent.	3,05 cent.	11 cent.

Il y a eu absorption d'azote dans tous les cas, et elle a eu lieu à peu près exclusivement par la terre, la végétation n'ayant pas atteint la phase où le végétal emprunte l'azote et le carbone, en dose notable, aux éléments du milieu extérieur.

C. 2° — Terre du parc avec végétation, à l'air libre, sous abri transparent.

Mêmes dispositions qu'à la page 202 ; six espèces de Légumineuses mises en expérience. On a commencé le 11 mai et terminé à des époques comprises entre le 17 juillet et le 16 octobre 1888.

(1) Eau condensée aux parois.

I. — (C. 2°.) ÉTAT INITIAL

Terre. — Chaque pot contenait au début : $3^{kg},479$ de terre, c'est-à-dire :

Terre sèche....................	3 106 grammes.
Eau..........................	373 —
	3 479 grammes.

Cette terre renfermait :

Azote ($1^{gr},7444$ par kilogramme sec).. $8^{gr},4181$

Elle contenait :

Azote nitrique....................... $0^{gr},0521$

Le *poids* et la *composition des graines* sont les mêmes qu'au tableau de la page 276 ; sauf pour celles de lupin, qui pesaient (sec) $19^{gr},11$, contenant : Azote = $0^{gr},4682$.

Le tableau suivant indique la *durée* des expériences et les *doses d'azote ammoniacal* apportées par l'*eau d'arrosage :*

		gr.
Pot n° 23. Vesce....	Du 11 mai au 31 juillet (81 jours)...	0,0030
Pot n° 24. Lupin....	Du 11 mai au 17 juillet (67 jours)...	0,0030
Pot n° 25. Jarosse...	Du 11 mai au 18 août (99 jours)....	0,0048
Pot n° 26. *Medicago lupulina*, etc.....	Du 11 mai au 16 oct. (158 jours)....	0,0096
Pot n° 27. Trèfle....	Du 11 mai au 24 juillet (74 jours)...	0,0030
Pot n° 28. Luzerne..	Du 11 mai au 2 oct. (144 jours).....	0,0096

I. — (C. 2°.) ÉTAT FINAL

II. — *État des plantes au moment où l'on a mis fin aux expériences.*

Pot n° 23. *Vesce.* Plantes en bon état. Quelques pieds en fleurs. Racines puissantes et pourvues de nombreux tubercules.

Pot n° 24. *Lupin.* 19 pieds, dont 10 en fleurs. Plantes en bon état. Quelques feuilles jaunes au bas. Nombreux tubercules sur les racines.

Pot n° 25. *Jarosse.* Plantes jaunes, sans fleurs. Tubercules sur les racines.

Pot n° 26. *Medicago lupulina*, etc. Plantes en fleurs et en fruits. Nombreux tubercules sur les racines. Quelques pieds de plantain.

Pot n° 27. *Trèfle.* Plantes jaunissantes à leur partie inférieure. Nombreux tubercules sur les racines.

Pot n° 28. *Luzerne.* Plantes en bon état; racines très puissantes, garnies de tubercules.

III. — (C. 2°.) *Composition finale de la terre.*

Pot n° 23. *Vesce.* La terre a fourni, pour 1 kilogramme sec :

	Azote.
	gr.
	1,8567
	1,8670
Moyenne......	1,8618

Gain apparent pour 1 kilogramme : $0^{kg}1174$;

Ou 6,7 centièmes.

Azote nitrique pour la totalité de la terre : $0^{gr},0079$.

On voit que les nitrates ont diminué, c'est-à-dire ont été utilisés, mais non en totalité.

Le poids final de la terre est (matière minérale de la plante déduite) :

3 106 — 54 = 3 052 grammes,

renfermant

Azote................................	$5^{gr},683$

Gain réel de la terre (arrosage déduit) :

5,683 — 5,418 — 0,003 (arrosage) = 0gr,262

soit 4,9 centièmes.

Pot n° 24. *Lupin*. La terre a fourni, pour 1 kilogramme sec:

	Azote.
	gr.
	1,8238
	1,8186
Moyenne......	1,8212

Gain apparent pour 1 kilogramme : 0kg,0768;

Soit 4,4 centièmes.

Azote nitrique pour la totalité : 0gr,0333. Un tiers seulement a été consommé.

Le poids final de la terre, soit :

3106 — 30 = 3076 grammes,

renfermait

Azote 5gr,594

Gain réel de la terre :

5,594 — 5,418 — 0,003 (arrosage) = 0gr,173

ou 3,2 centièmes.

Pot n° 25. *Jarosse*. La terre a fourni, pour 1 kilogramme sec :

	Azote.
	gr.
	1,7404
	1,7404
Moyenne......	1,7404

Il n'y aucun gain, mais une perte de 0gr,004, ou 2 millièmes, c'est-à-dire négligeable.

Cette perte serait naturellement plus forte, si l'on retran-

chait du poids de la terre finale celui de la matière minérale fixée sur la plante, soit 112 grammes ; la perte serait alors de 4 centièmes environ. Mais ce serait là une perte plus apparente que réelle, la plante ayant gagné de l'azote pour son propre compte, ainsi qu'il va être dit.

L'azote nitrique était réduit à des traces.

Pot n° 26. *Medicago lupulina*, développé à l'exclusion de la vulnéraire.

La terre donne, pour 1 kilogramme sec :

	Azote.
	gr.
	1,7634
	1,7532
Moyenne......	1,7583

Le gain apparent est de 0gr,014 ou 0,8 centième, c'est-à-dire douteux. Il se réduirait à 0,5, si l'on tenait compte des matières minérales fixées par la plante (11 grammes).

Azote nitrique, traces.

Pot n° 27. *Trèfle*. La terre a donné, pour 1 kilogramme sec :

	Azote.
	gr.
	1,7505
	1,7505
Moyenne......	1,7505

Ce qui fait, pour la totalité, un gain apparent de 0gr,006, ou 0,3 centième, c'est-à-dire négligeable. Il se changerait en une perte de 1 centième environ, si l'on tenait compte des matières minérales fixées sur la plante (54 grammes). On renverra à ce qui vient d'être dit pour les deux pots précédents.

On a trouvé encore :

Azote nitrique...... .... 0gr,0009

c'est-à-dire très diminué, sans avoir été entièrement consommé.

Pot n° 28. *Luzerne*. La terre a donné, pour 1 kilogramme sec :

	Azote.
	gr.
	1,9800
	1,9958
Moyenne......	1,9879

Gain apparent pour 1 kilogramme : 0,2435 ;

Ou 14 centièmes.

Azote nitrique, réduit à des traces.

Le poids final de la terre est

$$3106 - 39 = 3067 \text{ grammes.}$$

renfermant 6gr,111 d'azote.

Gain réel de la terre (arrosage déduit) :

$$6{,}111 - 5{,}418 - 0{,}010 \text{ (arrosage)} = 0^{gr}{,}683 ;$$

soit 12,6 centièmes.

IV. — (C. 2°.) *Composition finale des plantes.*

Pot n° 23. *Vesce*. Récolte le 31 juillet. On a trouvé :

	Humide.	Sec.	
	gr.	gr.	
Plantes (partie aérienne)......	61,3	18,8	(30,7 en centièmes)
Racines, etc..................	102,6	72,65	(70,8 en centièmes)
	163,9	91,45	

	Azote		
		en centièmes	
	Poids absolu.	du poids total.	de la matière organique.
	gr.		
Plantes (partie aérienne)....	0,2619	1,5	1,56
Racines, etc..............	0,3373	0,46	1,60
	0,5992		

	Matière organique		Cendres	
	en poids.	en centièmes.	en poids.	en centièmes.
	gr.		gr.	
Plantes (partie aérienne).	16,8	89,2	2,0	10,8
Racines, etc.	21,1	29,0	51,6	71,0
	37,9		53,6	

Le poids absolu de l'azote dans la plante a passé de 0gr,189 à 0gr,599, c'est-à-dire qu'il a triplé ; la partie souterraine en renferme plus de la moitié. La matière organique est devenue quinze fois aussi considérable. Ce sont là des rapports analogues à ceux des expériences nos 40 (p. 263), 47 (p. 283), 57 (p. 305), 64 (p. 317).

Pot no 24. *Lupin*. Récolté le 17 juillet. On a trouvé :

	Humide.	Sec.	
	gr.	gr.	
Plantes (partie aérienne)	105,75	25,40	(24 centièmes)
Racines, etc.	45,2	32,8	(6,8 centièmes)
	153,95	58,2	

	Azote		
		en centièmes	
	Poids absolu.	du poids total.	de la matière organique.
	gr.		
Plantes (partie aérienne)	0,3610	1,4	1,9
Racines, etc	0,1412	0,43	1,5
	0,5022		

	Matière organique		Cendres	
	en poids.	en centièmes.	en poids.	en centièmes.
	gr.		gr.	
Plantes (partie aérienne).	19,3	75,8	6,1	24,2
Racines, etc.	9,2	28,1	23,6	71,9
	28,5		29,7	

Le poids absolu de l'azote final dans la plante (0gr,5022) a à peine augmenté (0gr,4682 initial) ; soit de 6 centièmes seulement ; tandis que le poids de la matière organique a triplé. *Voir* les nos 41 (p. 265), 48 (p. 283 et suiv.), 58 (p. 306), 65 (p. 318).

Pot n° 25. *Jarosse*. Récoltée le 18 août ;

	Humide.	Sec.	
	gr.	gr.	
Plantes (partie aérienne)......	49,1	12,9	(26,3 centièmes)
Racines, etc................ ..	197,6	143,6	(73,2 centièmes)
	246,7	157,5	

	Azote		
		en centièmes	
	Poids absolu.	du poids total.	de la matière organique.
	gr.		
Plantes (partie aérienne)....	0,3126	2,4	2,8
Racines, etc................	0.5457	0,38	1,60
	0,8583		

	Matière organique		Cendres	
	en poids.	en centièmes.	en poids.	en centièmes.
	gr.		gr.	
Plantes (partie aérienne).	11,7	90,5	1,2	9,5
Racines, etc.............	34,0	23,55	110,6	76,45
	45,7		111,8	

Le poids absolu de l'azote dans la plante a presque quadruplé, ayant passé de $0^{gr},233$ à $0^{gr},858$; la racine en renferme les deux tiers. La matière organique est devenue dix fois aussi considérable dans la plante totale. *Voir* les nos 42 (p. 267), 49 (p. 286), 59 (p. 306), 66 (p. 319).

Pot n° 26. *Medicago lupulina*, etc. Récolté le 16 octobre. On a trouvé :

	Humide.	Sec.	
	gr.	gr.	
Plantes (partie aérienne).. ...	76,50	25,3	(33,1 centièmes)
Racines, etc........	29,19	20,5	(68,6 centièmes)
	85,69	55,8	

	Azote		
		en centièmes	
	Poids absolu.	du poids total.	de la matière organique.
	gr.		
Plantes (partie aérienne)....	0,7296	2,9	3,4
Racines, etc.........	0,3370	1,65	2,6
	1,0666		

	Matière organique		Cendres	
	en poids.	en centièmes.	en poids.	en centièmes.
	gr.		gr.	
Plantes (partie aérienne).	21,7	85,7	3,6	14,3
Racines, etc.	13,1	63,1	7,4	36,9
	34,8		11,0	

Le poids absolu de l'azote dans la plante est devenu près de douze fois aussi considérable, ayant passé de 0gr,091 à 1gr,067 ; les deux tiers sont contenus dans la partie aérienne, un tiers dans la partie souterraine.

La matière organique est devenue trente fois aussi forte. *Voir* les nos 43 (p. 268), 50 (p. 287), 60 (p. 307), 67 (p. 319).

Pot n° 27. *Trèfle*. Récolte le 24 juillet. On a trouvé :

	Humide.	Sec.	
	gr.	gr.	
Plantes (partie aérienne).	58,65	19,5	(33,2 centièmes)
Racines, etc.	80,95	64,0	(79,1 centièmes)
	139,60	53,5	

	Azote		
		en centièmes	
	Poids absolu.	du poids total.	de la matière organique.
	gr.		
Plantes (partie aérienne).	0,1836	1,0	1,33
Racines, etc.	0,1798	0,28	1,11
	0,3634		

	Matière organique		Cendres	
	Poids total.	en centièmes.	Poids total.	en centièmes.
	gr.		gr.	
Plantes (partie aérienne).	13,8	70,9	5,7	29,1
Racines, etc.	16,2	25,3	47,8	74,7
	30,0		53,5	

Le poids absolu de l'azote dans la plante a plus que doublé (de 0gr,118 à 0gr,363); il est réparti également entre la portion aérienne et la portion souterraine. La matière orga-

nique est devenue vingt fois aussi forte. *Voir* les nos 44 (p. 269), 51 (p. 288), 61 (p. 308), 68 (p. 320).

Pot n° 28. *Luzerne*. Première récolte le 8 août ; deuxième récolte le 2 octobre. On a trouvé :

	Humide.	Sec.	
Plantes (partie aérienne).	gr.	gr.	
1re récolte.	15,70	5,20	(33,1 centièmes)
» 2e récolte.	50,7	16,00	(31,5 centièmes)
Racines, etc.	140,0	69,95	(49,9 centièmes)
	206,40	91,15	

	Azote		
		en centièmes	
	Poids absolu.	du poids total.	de la matière organique.
Plantes (partie aérienne),	gr.		
1re récolte.	0,0932	1,8	1,9
» 2e récolte.	0,4097	2,6	3,8
Racines, etc.	0,9731	1,4	2,7
	1,4760		

	Matière organique		Cendres	
	Poids total.	en centièmes.	Poids total.	en centièmes.
Plantes (partie aérienne),	gr.		gr.	
1re récolte.	4,8	80,7	0,4	19,3
» 2e récolte.	10,9	68,4	5,1	31,6
Racines, etc.	36,2	51,8	33,7	48,2
	51,9		39,2	

Le poids absolu de l'azote est devenu dix-huit fois aussi considérable, ayant passé de 0gr,084 à 1gr,476 ; les deux tiers sont contenus dans la portion souterraine. La première récolte renfermait à peu près tout l'azote initial.

La matière organique est devenue trente fois aussi forte ; elle était déjà triplée dans la première récolte.

Ces nombres montrent qu'il existe diverses périodes dans le développement de la plante. Au début, dans la plante très jeune, les principes azotés se forment souvent plus rapidement que les hydrates de carbone ; auquel cas la jeune

plante devient plus riche en azote (sous un même poids) que la graine ; j'en ai fourni de nombreux exemples dans l'étude des Amarantes. Plus tard, l'accroissement des hydrates de carbone devient prépondérant, par rapport à celui des principes albuminoïdes, et il arrive souvent que cette prépondérance s'accuse toujours davantage, à mesure que la plante s'achemine vers la fin de son évolution annuelle. Mais dans certains cas, et la luzerne nous en fournit l'exemple, le dernier développement, qui répond à la deuxième récolte, forme de nouveau des matières azotées en proportion relative plus forte que le développement qui l'a précédé. Ces faits sont intéressants et mériteraient une étude spéciale; mais cela m'aurait entraîné trop loin.

Pour compléter ces observations, *voir* les nos 45 (p. 271), 52 (p. 289), 62 (p. 308), 69 (p. 321).

V. — (C. 2°.) *Équation générale de l'azote dans les cultures exécutées à l'air libre, sous abri transparent, avec la terre du parc* ($1^{gr},744$ Az par kilogramme sec), *à partir du* 11 *mai* 1888.

Surface des pots : 282 centimètres carrés. — Profondeur : 18 centimètres environ.

		Pot n° 23. Vesce.	Pot n° 24. Lupin.	Pot n° 25. Jarosse.	Pot n° 26. *Medicago lupulina.*	Pot n° 27. Trèfle.	Pot n° 28. Luzerne.
Durée de la culture		11 semaines.	10 semaines.	14 semaines.	23 semaines.	11 semaines.	21 semaines.
		gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
État initial	Terre	5,4181	5,4181	5,4181	5,4181	5,4181	5,4181
	Graine	0,1890	0,4683	0,2328	0,0911	0,1181	0,0845
	Arrosage	0,0030	0,0030	0,0048	0,0096	0,0030	0,0096
	Somme	5,6101	5,8894	5,6557	5,5188	5,5392	5,5122
État final	Terre	5,6830	5,5940	5,4061	5,4206	5,4171	6,1110
	Plante	0,5992	0,5022	0,8583	1,0666	0,3634	1,4760
	Somme	6,2822	6,0962	6,2644	6,4872	5,7805	7,5870
	Gain	0,6721	0,2068	0,6087	0,9684	0,2413	2,0748
		c'est-à-dire 11,2 cent.	c'est-à-dire 3,5 cent.	c'est-à-dire 10,8 cent.	c'est-à-dire 17,5 cent.	c'est-à-dire 4,5 cent.	c'est-à-dire 35,8 cent.

Il y a gain sur l'ensemble, dans tous les cas ; le lupin et le trèfle ayant fourni les moindres résultats ; de même qu'en général aux tableaux A. 2° (p. 272 et 273), A. 3° (p. 290), relatifs à la terre de l'enclos, et aux tableaux B. 2° (p. 310) et B. 3° (p. 322), relatifs à la terre de la terrasse. Par contre, la luzerne a donné lieu à la plus forte fixation d'azote, comme d'ordinaire. On s'en référera à cet égard aux conclusions des séries précédentes.

Cependant la terre du parc ne semblerait pas avoir, à première vue, fixé d'azote dans trois des expériences ; toute la fixation finale, dans ces cas, ayant eu lieu par la plante : ce qui correspond avec la grande richesse initiale de cette terre, la moins apte de toutes à fixer l'azote. Il est probable qu'il y a là une compensation, la végétation absorbant à mesure l'azote fixé par la terre. Cependant la fixation d'azote, même sur cette terre riche, a été notable avec la vesce et surtout avec la luzerne ; c'est-à-dire que la terre a fixé plus d'azote dans ces cas que la plante ne lui en a enlevé.

C. 3° — Terre du parc avec végétation à l'air libre, sans abri.

Mêmes dispositions qu'aux pages 274 et 311 ; six espèces de légumineuses. On a commencé le 11 mai et l'on a terminé à des époques comprises entre le 17 juillet et le 16 octobre 1888.

I. — (C. 3°.) État initial

Terre. — Chaque pot contenait, au début, 3^{kg},479 de terre, c'est-à-dire

Terre sèche..................	3106 grammes.
Eau............................	373 —
	3479 grammes.

Cette terre renfermait pour la totalité du pot :

Azote ($1^{gr},7444$ par kilogramme sec)... $5^{gr},4181$

On a trouvé également :

Azote nitrique........................ $0^{gr},0521$

Graines. — Le poids et la composition des graines sont les mêmes qu'au tableau de la page 276, sauf pour le lupin qui pesait : $9^{gr},16$ (sec), renfermant Azote = 0,4708.

Durée et arrosage. — Le tableau suivant indique la durée des expériences et la dose totale d'azote ammoniacal ou nitrique, apporté par la pluie et les arrosages (*voir* p. 212, 276, 312).

Pot.	Du 11 mai au	Arrosage. gr.	Pluie. gr.	Somme. gr.	Perte par eau de drainage
n° 30. Vesce....	31 juill. (81 j.)..	0,0015	0,0108	0,0123	»
n° 31. Lupin....	17 juill. (67 j.)..	0,0015	0,0108	0,0123	»
n° 32. Jarosse...	18 août (99 j.)..	0,0033	0,0147	0,0180	»
n° 33. *Medic. lupulina*..	16 oct. (158 j.).	0,0096	0,0171	0,0267	Az. nitrique (fin juin). — $0^{gr},0229$
n° 34. Trèfle....	21 juill. (71 j.).	0,0015	0,0108	0,0123	»
n° 35. Luzerne..	2 oct. (144 j.)..	0,0096	0,0160	0,0256	»

(C. 3°.) ÉTAT FINAL

II. — *État des plantes au moment où l'on a mis fin aux expériences.*

Pot n° 30. *Vesce*. Plantes en bon état. Quelques pieds en fruit. Racines très puissantes avec nombreux tubercules.

Pot n° 31. *Lupin*. — Plantes en bon état. 12 pieds en fleurs sur 19. Quelques feuilles jaunes à la partie inférieure. Nombreux tubercules sur les racines.

Pot n° 32. *Jarosse*. Plantes jaunes, sans fleurs. Tubercules sur les racines.

Pot n° 33. ***Medicago lupulina*** en fleurs et en fruits. 1 pied d'ortie, 1 pied de bourse-à-pasteur, accidentels. Racines du ***Medicago*** garnies de tubercules.

Pot n° 34. ***Trèfle***. Quelques feuilles jaunes dans le bas. Nombreux tubercules sur les racines.

Pot n° 35. ***Luzerne***. En bon état. Racines très puissantes, garnies de nombreux tubercules.

III. — (C. 3°.) *Composition finale de la terre.*

Pot n° 30. *Vesce*. La terre a fourni, pour 1 kilogramme sec :

	Azote.
	gr.
	1,8628
	1,8474
Moyenne......	1,8551

Gain apparent pour 1 kilogramme : $0^{gr},1107$;

Ou 6,4 centièmes.

Azote nitrique pour la totalité du pot : $0^{gr},0060$, c'est-à-dire en grande partie consommé.

Le poids final de la terre est 3 106 — 63 = 3 033 grammes, renfermant en azote : $5^{gr},6265$.

Gain réel de la terre (arrosage et pluie déduits) :

$$5,6265 - 5,4181 - 0,0123 \text{ (arrosage)} = 0^{gr},1961,$$

soit 3,6 centièmes.

Pot n° 31. *Lupin*. La terre a fourni, pour 1 kilogramme sec :

	Azote.
	gr.
	1,8271
	1,8115
Moyenne......	1,8193

Gain apparent pour 1 kilogramme : 0gr,0749;

Ou 4,3 centièmes.

Azote nitrique pour la totalité : 0gr,0025.

Le poids final de la terre est 3106 — 33 = 3073 grammes, renfermant en azote : 5gr,596.

Gain réel de la terre :

5,596 — 5,4181 — 0,0123 (arrosage) = 0gr,166.

ou 3 centièmes.

Pot n° 32. *Jarosse.* La terre a fourni, pour 1 kilogramme sec :

	Azote.
	gr.
	1,9590
	1,9437
Moyenne......	1,9513

Gain apparent pour 1 kilogramme : 0gr,2069;

Ou 11,9 centièmes.

Azote nitrique : traces.

Poids final de la terre : 3106 — 58 = 3048 grammes, renfermant en azote : 5gr,947.

Gain réel de la terre :

5,947 — 5,418 — 0,018 (arrosage) = 0gr,511.

soit 9,4 centièmes.

Pot n° 33. *Medicago*, etc. La terre a fourni, pour 1 kilogramme sec :

	Azote.
	gr.
	1,9740
	1,9535
Moyenne......	1,9636

Gain apparent pour 1 kilogramme : 0gr,2192.

Soit 12,6 centièmes.

Azote nitrique : traces.

Poids final de la terre : 3106 — 14 = 3092 grammes, renfermant azote : 6gr,073.

Gain réel de la terre :

6,073 — 5,418 — 0,027 = 0gr,628,

soit 11,6 centièmes.

Pot n° 34. *Trèfle*. La terre a fourni, pour 1 kilogramme sec :

	Azote.
	gr.
	1,7738
	1,7686
Moyenne......	1,7712

Gain apparent pour 1 kilogramme : 0gr,0268 ;

Ou 1,5 centième.

Azote nitrique : 0gr,0016, c'est-à-dire presque disparu.

Poids final de la terre : 3106 — 45 = 3066 grammes, renfermant azote : 5gr,447.

Gain réel de la terre :

5,447 — 5,418 — 0,012 (arrosage) = 0gr,017,

ou 0,3 centième, c'est-à-dire sensiblement nul.

Pot n° 35. *Luzerne*. La terre a fourni, pour 1 kilogramme sec :

	Azote.
	gr.
	1,8746
	1,9368
	1,9108
Moyenne......	1,9071

Gain apparent pour 1 kilogramme : 0gr,1627 ;

Ou 9,9 centièmes.

Azote nitrique : 0gr,0051.

Poids final de la terre : 3106 — 23 = 3083 grammes, renfermant azote : 5gr,848.

Gain réel de la terre :

5,848 — 5,418 — 0,026 (arrosage) = 0gr,404,

ou 7,5 centièmes.

IV. — (C. 3°.) *Composition finale des plantes.*

Pot n° 30. *Vesce.* Récolte le 31 juillet. On a trouvé :

	Humides.	Sèches.	
	gr.	gr.	
Plantes (partie aérienne)..	97,85	24,30	(24,8 centièmes).
Racines, etc.	134,6	90,15	(67 centièmes).
	232,45	114,45	

	Poids absolu.	Azote en centièmes du poids total.	Azote en centièmes de la matière organique.
	gr.		
Plantes (partie aérienne)....	0,3714	1,5	1,7
Racines, etc.	0,4539	0,5	2,3
	0,8253		

	Matière organique en poids.	Matière organique en centièmes.	Cendres en poids.	Cendres en centièmes.
	gr.		gr.	
Plantes (partie aérienne).	21,8	89,7	2,5	10,3
Racines, etc.	20,0	22,2	70,2	77,8
	31,8		72,7	

Le poids de l'azote de la plante a quadruplé, ayant passé de 0gr,189 à 0gr,825 ; celui de la matière organique a décuplé. L'un et l'autre sont répartis à peu près également entre la partie aérienne et la partie souterraine. *Voir* les nos 40 (p. 263), 47 (p. 283), 57 (p. 305), 64 (p. 317), 23 (p. 345).

Pot n° 31. *Lupin*. Récolte le 17 juillet. On a trouvé :

	Humides.	Sèches.	
	gr.	gr.	
Plantes (partie aérienne)..	130,55	31,9	(24,4 centièmes),
Racines, etc.	56,6	40,8	(72,1 centièmes)
	187,15	72,7	

	Azote.		
		en centièmes.	
	Poids absolu.	du poids total.	de la matière organique.
	gr.		
Plantes (partie aérienne)..	0,4356	1,4	1,8
Racines, etc.	0,1789	0,44	1,2
	0,6145		

	Matière organique.		Cendres.	
	en poids.	en centièmes.	en poids.	en centièmes.
	gr.		gr.	
Plantes (partie aérienne).	24,7	77,35	7,2	22,65
Racines, etc.	15,1	36,8	25,7	63,2
	39,8		32,9	

Le poids de l'azote de la plante n'a augmenté que d'un quart ($0^{gr},485$ à $0^{gr},6145$); la racine n'en renferme que le quart environ. Le poids de la matière organique a quadruplé. *Voir* les nos 41 (p. 265), 48 (p. 283), 58 (p. 306), 65 (p. 318), 24 (p. 346).

Pot n° 32. *Jarosse*. Récolte le 18 août. On a trouvé :

	Humides.	Sèches.	
	gr.	gr.	
Plantes (partie aérienne)..	72,2	19,05	(26,4 centièmes).
Racines, etc.	157,15	83,85	(53,8 centièmes).
	229,35	102,90	

	Azote		
		en centièmes	
	Poids absolu.	du poids total,	de la matière organique.
	gr.		
Plantes (partie aérienne)....	0,2455	1,3	1,44
Racines, etc.	0,3935	0,47	1,42
	0,6390		

	Matière organique		Cendres	
	en poids.	en centièmes.	en poids.	en centièmes.
	gr.		gr.	
Plantes (partie aérienne).	17,0	89,25	2,05	10,75
Racines, etc.	27,7	32,8	56,15	67,2
	44,7		58,20	

L'azote de la plante a triplé, ayant passé de 0gr,232 à 0gr,639; les 3/5 sont contenus dans la portion souterraine. Le poids de la matière organique a décuplé. *Voir* les nos 42 (p. 267), 49 (p. 286), 59 (p. 306), 66 (p. 319), 25 (p. 346).

Pot n° 33. ***Medicago lupulina***, etc. Récolte le 16 octobre. On a trouvé :

	Humides.	Sèches.	
	gr.	gr.	
Plantes (partie aérienne)	128,6	34,4	(26,7 centièmes)
Racines, etc.	28,1	21,3	(75,8 centièmes)
	156,7	55,7	

	Azote		
	Poids absolu.	en centièmes du poids total.	en centièmes de la matière organique.
	gr.		
Plantes (partie aérienne)	0,9324	2,7	3,4
Racines, etc.	0,2497	1,2	2,2
	1,1821		

	Matière organique		Cendres	
	en poids.	en centièmes.	en poids.	en centièmes.
	gr.		gr.	
Plantes (partie aérienne).	30,7	89,3	3,7	10,7
Racines, etc.	11,15	52,4	10,15	47,6
	42,85		13,85	

L'azote de la plante est devenu 12 fois aussi considérable (de 0gr,091 à 1gr,182), dont un quart dans la partie souterraine. Le poids de la matière organique est devenu 40 fois aussi grand. *Voir* les nos 43 (p. 268), 50 (p. 287), 60 (p. 307), 67 (p. 319), 26 (p. 347).

Pot n° 34. *Trèfle*. Récolte le 21 juillet. On a trouvé :

	Humides.	Sèches.	
	gr.	gr.	
Plantes (partie aérienne)	65,4	26,3	(40,2 centièmes)
Racines, etc	47,75	39,7	(83,1 centièmes)
	113,15	66,0	

	Azote		
		en centièmes	
	Poids absolu.	du poids total.	de la matière organique.
	gr.		
Plantes (partie aérienne) ...	0,2061	0,8	1,1
Racines, etc................	0,1158	0,32	1,6
	0,3219		

	Matière organique		Cendres	
	en poids.	en centièmes.	en poids.	en centièmes.
	gr.		gr.	
Plantes (partie aérienne).	18,9	71,7	7,4	28,3
Racines, etc.............	7,4	18,8	32,3	81,2
	26,3		39,7	

L'azote de la plante n'a pas tout à fait triplé (de $0^{gr},118$ à $0^{gr},322$) ; la matière organique est devenue 12 fois aussi forte. *Voir* les n°s 44 (p. 269), 51 (p. 288), 61 (p. 308), 68 (p. 320), 27 (p. 347).

Pot n° 35. *Luzerne*. 1re récolte, le 8 août ; 2e récolte, le 2 octobre. On a trouvé :

	Humides.	Sèches.	
Plantes (partie aérienne) :	gr.	gr.	
1re récolte.	17,90	5,3	(29 centièmes)
» 2e récolte.	53,70	13,7	(25,5 centièmes)
Racines, etc.................	87,8	47,8	(54,4 centièmes)
	159,40	61,5	

	Azote		
		en centièmes	
	Poids absolu.	du poids total.	de la matière organique.
Plantes (partie aérienne) :	gr.		
1re récolte.	0,1029	1,3	2,3
2e récolte.	0,4507	3,3	4,1
Racines, etc................	0,8377	1,75	2,9
	1,3913		

	Matière organique en poids.	Matière organique en centièmes.	Cendres en poids.	Cendres en centièmes.
Plantes (partie aérienne)	gr.		gr.	
1re récolte.	4,4	82,7	0,7	17,3
» 2e récolte.	11,1	81,2	2,6	18,8
Racines, etc.	28,7	60,0	19,1	40,0
	44,2		22,5	

L'azote de la plante est devenu 16 fois aussi considérable. ayant passé de 0gr,084 à 1gr,391 ; la partie souterraine en renferme près des deux tiers. La matière organique est devenue 34 fois aussi considérable. On remarque que la deuxième récolte est beaucoup plus riche en azote que la première; non seulement comme poids absolu, mais comme proportion relative. *Voir* les nos 45 (p. 271), 52 (p. 289), 62 (p. 309), 69 (p. 321), 28 (p. 348).

V. — C. 3°.) *Équation générale de l'azote dans les cultures exécutées à l'air libre, sans abri, avec la terre du parc* (1gr,744 d'azote par kilogramme sec), *à partir du* 11 *mai* 1888.

Surface des pots, 282 centimètres carrés; profondeur, 18 centimètres environ.

		Pot nº 30. Vesce.	Pot nº 31. Lupin.	Pot nº 32. Jarosse.	Pot nº 33. *Medicago lupulina*, etc.	Pot nº 34. Trèfle.	Pot nº 35. Luzerne.
Durée		12 semaines.	10 semaines.	14 semaines.	23 semaines.	10 semaines.	21 semaines.
		gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
État initial.	Terre	5,4181	5,4181	5,4181	5,4181	5,4181	5,4181
	Graine	0,1890	0,4708	0,2328	0,0911	0,1181	0,0845
	Arrosage	0,0123	0,0123	0,0180	0,0267	0,0123	0,0256
	Somme	5,6194	5,8012	5,6689	5,5359	5,5485	5,5285
État final...	Terre	5,6265	5,5960	5,9470	6,0730	5,4470	5,8480
	Plante	0,8253	0,6145	0,6390	1,1821	0,3219	1,3913
	»	»	»	»	0,0229 (1)	»	»
	Somme	6,4518	6,2105	6,5860	7,2780	5,7689	7,2393
Gain		0,8326	0,4093	0,9189	1,6421	0,2204	1,5111
C'est-à-dire		14,8 cent.	7,1 cent.	16,2 cent.	29,7 cent.	3,9 cent.	27,3 cent.

(1) Azote des eaux de drainage.

Il y a gain dans tous les cas, le lupin et le trèfle étant minimum, comme presque toujours, notamment avec la même terre sous abri (C. 2°, p. 310). La luzerne est maximum, comme dans la plupart des cas. La terre a toujours fixé de l'azote; mais, avec le trèfle et le lupin, cette fraction a été minime, le gain final ayant eu lieu surtout sur la plante, en raison sans doute de la grande richesse en azote de la terre actuelle (terre du parc). L'azote fixé sur la terre aurait été cédé aussitôt et au fur et à mesure à la plante, sans que la vitalité des êtres vivants, dans le système complexe formé par la terre et les racines du trèfle ou du lupin, ait été suffisante pour faire plus que compenser les pertes dues à l'azote cédé à la partie aérienne de la plante. Toutefois, la même terre s'est enrichie notablement avec les autres légumineuses, principalement avec la jarosse, le ***Medicago lupulina***, la luzerne :

Comparer sous ces divers points de vue les tableaux A. 2°, p. 272 : A. 3°, p. 290; B. 2°, p. 310; B. 3°, p. 322; et surtout C. 2°, p. 350.

Nous voici arrivé au terme de l'exposition détaillée de ces nombreuses et importantes expériences. Pour en mieux faire saisir l'ensemble, je crois nécessaire de présenter les tableaux suivants, qui résument les observations et leurs conclusions relatives à la fixation de l'azote, estimée en centièmes du poids initial de cet élément renfermé dans la terre et dans la plante. Rappelons que ces observations ont eu lieu à partir du 11 mai 1888. L'épaisseur de la terre était de 18 centimètres environ.

On reproduira d'abord, comme terme de comparaison, le tableau relatif à la terre nue.

TABLEAU I. — *Absorption d'azote par la terre nue.*

		Azote initial.		Durée.	Gain d'azote en centièmes du poids initial	Gain calculé pour une surface d'un hectare.
Terre nue...	Terre de l'enclos.	$0^{gr},9744$ par kilogr. sec; 45 grammes environ de matière organique	sous cloche (53)...........	8 semaines.	8,6	87^k
			à l'air libre, sous abri (39).	12 semaines.	7,3	74
			sans abri (46)........... ..	11 semaines	9,5 brut. 8,8; eau de pluie déduite	86
	Terre de la terrasse........	$1^{gr},655$ par kilog sec; 50 grammes environ de matière organique........ .	sous cloche (70)...........	7 semaines.	2,2	18
			à l'air libre, sous abri (56).	13 semaines.	5,8	95
			sans abri (63).............	11 semaines.	9,5 brut. 9,1; eau de pluie déduite	150
	Terre du parc.	$1^{gr},7444$ par kilogr. sec; 90 grammes environ de matière organique....... ..	sous clocle (36)...........	7 semaines.	4,3	78
			à l'air libre, sous abri (22)..	11 semaines.	6,1	110
			sans abri (29).............	11 semaines.	2,1 brut 1,7; eau de pluie déduite	30

Ces gains devraient, en réalité, être quadruplés ou quintuplés, si on les rapportait, comme il conviendrait pour l'étude des phénomènes naturels, à la durée totale de la saison et à une épaisseur de $0^m,40$ à $0^m,45$; mais j'ai préféré ne donner que des chiffres observés.

Ainsi, la terre nue, dans les conditions où j'opérais (1), a absorbé de l'azote; sauf dans deux cas où les quantités absorbées, voisines de 2 centièmes, ne dépassent pas les erreurs d'expériences. Cette absorption a été particulièrement marquée avec la terre de l'enclos, la plus pauvre en azote et dès lors la plus apte à en fixer. La fixation de l'azote a été la même sensiblement avec la terre de l'enclos, sous cloche et à l'air libre, sous abri et sans abri : ce qui montre combien a été minime l'influence exercée sur cette fixation par les apports dus tant à l'eau de pluie, qu'aux gaz ammoniacaux de l'atmosphère illimitée (2). Une seule forte pluie, telle que celle de la fin de juin (3), a entraîné par drainage plus d'azote que toutes les eaux météoriques réunies de la saison n'en avaient apporté. Dans tous les cas, la terre s'est trouvée dans les conditions d'une nitrification, peu active d'ailleurs.

Avec les deux autres terres, moins aptes à fixer l'azote, les influences atmosphériques ont été plus sensibles : sans doute à cause des apports de microbes divers, par les poussières atmosphériques et les eaux météoriques. Quoi qu'il en soit, le fait fondamental de l'absorption de l'azote par certaines terres, que j'ai déjà établi par tant d'expériences, reçoit de celles-ci une nouvelle confirmation.

Venons maintenant à la fixation de l'azote, opérée avec le

(1) Ce volume, p. 193-195, 202, 208-209.
(2) *Voir* p. 227.
(3) *Voir* p. 211-212 et p. 158.

concours de la végétation des Légumineuses. Dans ce groupe d'expériences, on a consacré un tableau à chaque plante, chacune d'elles ayant été l'objet de six essais au moins. Ces tableaux comprennent, en plus des données du précédent, le gain rapporté au poids réel de la terre finale et à son unité de poids, comparé au poids de l'azote initial de la plante. Le dernier est en outre, dans une partie des tableaux, réparti proportionnellement aux poids constatés de l'azote, entre la partie aérienne de la plante (tige, feuilles, fleurs, fruits), et la partie souterraine (racines et débris organiques visibles). Une telle répartition jette un jour nouveau sur les procédés de fixation de l'azote par les différentes espèces.

[illegible]

		Durée	[illegible]		[illegible]		[illegible]	[illegible]
Terre de l'enclos...	sous cloche ([illegible])........	[illegible] semaines.	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
	à l'air, sous abri ([illegible]).....	[illegible] semaines	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
	sans abri ([illegible])...........	[illegible] semaines.	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
Terre de la terrasse.	sous cloche ([illegible]).........	[illegible] semaines.	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
	à l'air, sous abri ([illegible]).....	[illegible] semaines.	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
	sans abri (6[illegible])...........	[illegible] semaines	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
Terre du parc......	à l'air, sous abri ([illegible]3)....	[illegible] semaines.	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
	sans abri (30)...........	[illegible] semaines.	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

(1) Épaisseur, 18 centimètres. On a retranché le poids de l'azote apporté par la pluie et par l'arrosage.

(2) C'est-à-dire rapporté à 1 kilogramme de terre. Tandis que le gain réel comprend seulement l'azote contenu dans la terre finale, en déduisant la matière minérale fixée sur la plante.

(3) On a réparti ce gain entre la partie aérienne (tige, feuilles, fleurs, fruits, etc.), et la partie souterraine (racines et débris) proportionnellement aux poids d'azote contenus, d'après l'analyse, dans ces deux parties.

TABLEAU III. — *Lupin.*

		Durée.	Gain total d'azote en cent.	Gain total d'azote par hectare.	Gain de la terre en centièmes réel.	Gain de la terre en centièmes apparent.	Gain de la plante en centièmes.	Partie aér. Partie sout.
Terre de l'enclos...	sous cloche (54)........	5 semaines.	8,6	kg. 119,0	11,1	14,4	— 10,0	p. a...... — 8,4 p. s...... — 1,6
	à l'air libre, sous abri (41).	10 semaines.	6,4	85,5	7,4	8,6	— 22,5	p. a..... —15,8 p. s ..... — 6,7
	sans abri (48)..........	10 semaines.	0,23	3,2	—1,0	+2,2	+ 14	p. a...... 7,7 p. s...... 6,3
Terre de la terrasse.	sous cloche (71)........	7 semaines.	5,7	130	7,6	8,0	— 12	p. a...... — 9,6 p. s...... — 2,4
	à l'air libre, sous abri (58).	10 semaines.	6,2	134	6,3	7,2	+ 48	p. a..... +34 p. s...... +14
	sans abri (65)..........	10 semaines.	5,2	111	7,5	8,2	— 20	p. a...... —14 p. s...... — 6
Terre du parc	sous cloche (37)........	6 semaines.	7,8	163	8,0	8,6	+ 6	p. a...... 5,3 p. s..... 0,7
	sous cloche sans CO^2 (73).	6 semaines.	3,05	66	4,9	5,1	— 36	p. a...... —30 p. s...... — 6
	sous cloche; circulation d'air privé de AzH^3 (75).	10 semaines.	11,0	238	11,3	11,5	+ 4	p. a..... 3 p. s...... 1
	à l'air libre, sous abri (24).	10 semaines.	3,5	73	3,2	4,4	+ 7	p. a...... 5 p. s...... 2
	sans abri (31)..........	10 semaines.	7,1	145	3,0	4,3	+ 30	p. a...... 21 p. s...... 9

TABLEAU IV. — *Jarosse*.

		Durée.	Gain total d'azote en cent.	Gain total d'azote par hectare.	Gain de la terre en centièmes réel.	Gain de la terre en centièmes apparent.	Gain de la plante en centièmes.	Partie aérienne. Partie souter.	
Terre de l'enclos...	à l'air libre, sous abri (42).	14 semaines.	20,0	kg. 259	7,6	11,5	205	p. a. .... p. s.	74 141
	sans abri (49).........	14 semaines.	15,0	195	2,5	7,3	199	p. a. .... p. s.	78 121
Terre de la terrasse.	à l'air libre, sous abri (59).	15 semaines.	9,0	172	4,3	5,1	121	p. a. .... p. s.	48 73
	sans abri (66).........	14 semaines.	10,9	227	— 5,6(1)	+5,6	411	p. a. .... p. s.	90 321
Terre du parc......	à l'air libre, sous abri (25).	14 semaines.	10,8	212	—4,0(2)	+ 0,2	268	p. a. .... p. s.	98 170
	sans abri (32).........	14 semaines.	16,2	326	9,4	11,9	174	p. a. .... p. s.	66 108

(1) Cette perte résulte de l'énorme quantité de matière minérale fixée sur les racines, quantité qui a dû être retranchée du poids de la terre initiale. En réalité, la terre a gagné, pour un même poids : 5,6 centièmes.

(2) Même observation. La perte de la terre, pour un même poids, est sensiblement nulle.

TABLEAU V. — *Medicago lupulina, Vulnéraire et diverses plantes mélangées.*

		Durée.	Gain total d'azote en cent.	Gain total d'azote par hect.	Gain de la terre en centièmes réel	Gain de la terre en centièmes apparent	Gain de la plante en centièmes.	Partie aérienne. Partie souter.	
				kg.					
Terre de l'enclos...	à l'air libre, sous abri (43).	22 semaines.	33,7	424	12,9	13,6	835	p. a.........	575
								p. s.........	250
	sans abri (50)...........	19 semaines.	11,0	138	3,5	15,0	1399	p. a.........	783
								p s.........	616
Terre de la terrasse.	à l'air libre, sous abri (60).	23 semaines.	34,8	704	13,2	13,8	1359	p. a. 1re réc.	249
								p. a. 2e réc..	758
								p. s.........	352
	sans abri (67)...........	23 semaines.	16,4	332	5,2	11,5	708	p. a.........	556
								p. s.........	152
Terre du parc......	a l'air libre, sous abri (26).	33 semaines.	17,5	343	0,5	0,0	1072	p. a.........	733
								p. s.........	339
	sans abri (33)...........	23 semaines.	29,7	582	11,6	12,6	1200	p. a.........	935
								p. s.........	245

TABLEAU VI. — *Trèfle.*

		Durée.	Gain total d'azote		Gain de la terre en centièmes		Gain de la plante en cent.	Partie aérienne. Partie souterraine.	
			en cent.	par hect.	réel.	apparent.			
				kg.					
Terre de l'enclos...	air libre, sous abri (44)..	11 semaines.	10,5	132	7,7	9,7	78	p. a........	42
								p. s.........	36
	sans abri (51)..........	11 semaines.	10,8	136	5,3	9,0	170	p. a.........	83
								p. s........	87
Terre de la terrasse.	air libre, sous abri (61)..	12 semaines.	10,8	218	9,8	10,6	55	p. a.........	36
								p. s.........	19
	sans abri (68)..........	11 semaines.	6,5	131	5,5	6,2	52	p. a.........	34
								p. s.........	18
Terre du parc......	air libre, sous abri (27)..	11 semaines.	4,5	89	—1,5	+0,3	208	p. a.........	105
								p. s.........	103
	sans abri (34)...........	10 semaines.	3,9	78	0,3	1,5	173	p. a.........	114
								p. s.........	59

TABLEAU VII. — *Luzerne.*

		Durée.	Gain total d'azote en cent.	Gain total d'azote par hect.	Gain de la terre en centièmes réel.	Gain de la terre en centièmes apparent.	Gain de la plante en cent.	Partie aérienne. Partie souterraine.	
				kg.					
Terre de l'enclos...	air libre, sous abri (45)..	19 semaines.	37,5	468	9,1	11,0	1174	p. a. 1re réc.	152
								p. a. 2e réc..	399
								p. s.........	621
	sans abri (52)...........	19 semaines.	41,3	517	9,4	13,0	1322	p. a. 1re réc.	126
								p. a. 2e réc..	394
								p. s.........	802
Terre de la terrasse.	air libre, sous abri (62)..	20 semaines.	28,4	600	15,0	16,3	1010	p. a. 1re réc.	139
								p. a. 2e réc..	425
								p. s.........	446
	sans abri (69)...........	18 semaines.	29,1	589	8,8	9,9	1361	p. a. 1re réc.	250
								p. a. 2e réc..	514
								p. s.........	597
Terre du parc......	sous cloche (38).........	16 semaines.	5,3	103	6,5	6,5	—30	p. a........	—20
								p. s.........	—10
	air libre, sous abri (28)..	21 semaines.	35,8	735	12,6	14,0	1647	p. a. 1re réc.	104
								p. a. 2e réc..	457
								p. s.........	1086
	sans abri (35)...........	21 semaines.	27,3	538	7,5	9,9	1523	p. a. 1re réc.	110
								p. a. 2e réc..	498
								p. s.........	915

Résumons ces tableaux et les conclusions qui s'en dégagent, pour chacune des six espèces mises en expériences.

1° Pour la *vesce*, avec la terre de l'enclos et de la terrasse, le gain d'azote sous cloche a été notable, à peu près le même pour la première terre qu'avec la terre nue. Dans les deux cas, c'est la terre qui a gagné, la plante ayant perdu une partie de son azote initial, parce que son développement n'a pas été amené à dépasser le terme auquel la plante pouvait emprunter l'azote combiné des milieux ambiants. Les racines et parties souterraines ne renfermaient d'ailleurs que la moindre partie de l'azote de la plante : ce qui montre que cette portion de la plante n'est guère intervenue.

Au contraire, lorsqu'on a opéré à l'air libre, les doses relatives d'azote fixé sur le système ont été beaucoup plus fortes : doubles ou triples, avec les terres de l'enclos, de la terrasse et du parc, de ce qu'elles étaient avec la terre nue. Elles ont été également doubles ou triples de ce qu'elles étaient avec la vesce sous cloche. Le gain relatif a été le plus fort avec la terre de l'enclos, c'est-à-dire avec la terre la plus pauvre en azote ; mais les gains absolus sont du même ordre avec les trois terres.

Ce gain n'a porté d'ailleurs que pour une fraction sur la terre ; une fraction, souvent plus considérable, ayant été fixée sur la plante, dont l'azote a doublé, triplé et même quintuplé.

Ce n'est pas tout : circonstance remarquable, le gain d'azote réalisé sur la plante a eu lieu à peu près également sur la partie aérienne et sur la partie souterraine ; cette dernière l'emportait même dans plusieurs circonstances. Ce rapport de l'azote gagné à l'azote initial est aussi à peu près celui de la matière organique dans les deux régions : remarque qui s'applique aussi aux plantes suivantes. De tels

résultats montrent le rôle prépondérant joué par les racines des Légumineuses, concourant avec la terre dans la fixation de l'azote.

C'est donc à la terre qu'elles semblent l'emprunter ; ou plutôt, il paraît se faire entre la terre et les racines de la vesce une sorte d'alliance, d'union intime et de vie commune, dues à l'intervention des microbes de la terre, et en vertu de laquelle l'azote, fixé grâce à ceux-ci, se transmettrait à la plante elle-même. Mes observations à cet égard s'accordent avec celles de MM. Hellriegel et Wilfarth.

L'influence prépondérante du sol sur la fixation de l'azote, influence que j'ai découverte, il y a quelques années, reçoit là une confirmation nouvelle et une caractéristique plus complète.

La fixation de l'azote n'a pas lieu d'ailleurs d'une façon exclusive, ou même prédominante, par les végétaux inférieurs proprement dits, tels que moisissures, champignons, algues microscopiques, etc., qui peuvent se développer à la surface du sol et dont j'ai signalé plus d'une fois l'existence. En effet, si ces végétaux étaient le siège de la fixation de l'azote, la couche superficielle du sol où ils se développent devrait être la plus riche en azote ; or j'ai constaté à maintes reprises, par l'analyse (1), que cette couche n'offre à cet égard aucune prédominance et qu'elle tendrait même à se montrer un peu moins riche en azote que la masse totale. C'est donc dans celle-ci que résident les agents fixateurs d'azote, quelle qu'en soit la nature.

Le poids d'azote ainsi fixé sur le sol est parfois très considérable. Sur le sol nu, lorsqu'on le rapporte par le calcul à la surface d'un hectare, l'azote fixé a atteint en deux mois,

(1) Ce volume, sables argileux jaunes, p. 27-29, n° 3 ; sable jaune, p. 32 ; argile blanche, p. 35, etc.

avec la terre de l'enclos, même sous cloche, jusqu'à près de 90 kilogrammes pour une faible épaisseur; ce chiffre restant à peu près le même, soit sous cloche, soit à l'air libre, avec ou sans abri. Avec la terre du parc, la diversité de ces trois conditions ne semble pas exercer davantage une influence décisive : en onze semaines, la fixation peut s'élever jusqu'à 150 kilogrammes par hectare calculé.

Ces valeurs devraient-elles être doublées, ou triplées, pour les rapporter à une période de six mois, et triplées encore une fois, pour les rapporter à une couche de 45 centimètres, ce qui les porterait, vers 300 kilogrammes, à même épaisseur, et vers 800 kilogrammes par hectare calculé, pour une épaisseur suffisante? C'est ce que je ne voudrais pas décider, le maximum d'effet étant peut-être limité dans les conditions où j'opérais.

A plus forte raison le maximum est-il limité, lorsqu'il s'agit de la végétation d'une plante, qui tend à évoluer dans l'espace et la surface confinés d'un pot. Or, dans cette dernière condition, les fixations d'azote observées en trois mois ont souvent dépassé 300 kilogrammes par hectare calculé. Cette fixation doit être influencée, en raison de la multiplicité des pieds semés dans un même pot, où la densité de la végétation se trouve beaucoup plus forte que lors de la culture normale en pleine terre. Mais, si l'azote fixé sur un poids donné de matière se trouve accru ; par contre la plante ainsi resserrée est loin d'atteindre la même grandeur et le même développement qu'en plein champ, du moins dans sa partie aérienne; car les racines prennent, au contraire, un développement extrême. Tels quels, les résultats observés sont tout à fait décisifs, au point de vue de la fixation de l'azote.

2° Avec le *lupin*, les résultats ont été moins bons; sans doute parce qu'ils ont été observés seulement pendant la pre-

mière période de l'existence de cette plante, son développement complet s'accomplissant plus tard.

C'est avec la terre mise sous cloche que les fixations d'azote observées ont été les plus fortes; elles ont été à peu près les mêmes qu'avec la vesce. Elles répondent de même à un degré où l'évolution complète de la plante, avec emprunt d'éléments au milieu ambiant, n'a pas encore eu lieu; la plante ayant d'ordinaire perdu de l'azote, tandis que la terre en gagnait; à la vérité, beaucoup plus.

Même à l'air libre, le lupin ne s'est guère mieux développé, pendant cette première période de sa vie.

En tout cas, lorsqu'on se limite aux débuts de son existence, le lupin est une plante peu favorable à ce genre d'expériences ; contrairement à l'espoir qui me l'avait fait choisir au début. De même, pendant cette période initiale, l'azote est toujours demeuré prépondérant dans la partie aérienne du lupin, la partie souterraine n'ayant guère paru concourir à sa fixation. Toutes ces données demeurent, on le voit, corrélatives.

3° La *jarosse* donne au contraire des résultats très remarquables; malheureusement aucun essai n'a été fait sous cloche avec cette plante. Les proportions d'azote fixé monteraient à 200 ou 300 kilogrammes par hectare calculé. Le gain relatif est le plus grand avec la terre de l'enclos, qui est la plus pauvre en azote ; mais les gains absolus par hectare sont du même ordre avec les diverses terres. Ils le sont également pour la plante, et plus que pour la terre même; car dans la plante, l'azote a doublé et même quadruplé.

Enfin, et ce fait est caractéristique, c'est sur la racine de la jarosse que l'azote se trouve surtout concentré ; car il s'y trouve en proportion double et même quadruple de la partie

aérienne. L'alliance intime du sol et de la partie souterraine de la plante trouve ainsi une nouvelle confirmation ; confirmation d'autant plus frappante que la racine a fixé sur elle-même, dans un cas, jusqu'au neuvième de la portion minérale du sol contenu dans le pot.

4° Avec le ***Medicago lupulina***, mêlé de vulnéraire et plantes diverses, les gains d'azote se sont élevés plusieurs fois au tiers de l'azote primitif du système. Les gains absolus ont été plus forts avec les terres du parc et de la terrasse et ils ont monté jusqu'à 600 et 700 kilogrammes par hectare calculé, en cinq mois.

Le gain de la terre seule ne dépasse pas 13 centièmes et il est du même ordre qu'avec les plantes précédentes. Mais l'azote des plantes est devenu 7 fois, 8 fois, 12 fois et jusqu'à 14 fois aussi considérable que sa dose primitive.

La lenteur plus grande du développement de la plante a dû concourir à ces résultats.

Dans le cas présent, la répartition entre la partie aérienne et la partie souterraine est toute différente de celle qui existe pour la jarosse ; l'azote de la partie aérienne surpassant celui de la partie souterraine, parfois même dans le rapport de 4 à 1.

5° Le *trèfle* a donné des résultats médiocres, intermédiaires entre le lupin et la jarosse : cette légumineuse s'est mal développée dans les conditions de mes essais, probablement en raison de leur durée trop limitée. Cependant il y a toujours eu gain d'azote. Ce gain a eu lieu pour les terres les plus pauvres, à la fois par la terre et par la plante ; mais la terre la plus riche, celle du parc, n'a pour ainsi dire rien gagné, la plante lui ayant enlevé à mesure l'azote fixé. La partie aérienne et la partie souterraine de la plante renferment le plus souvent des doses à peu près égales d'azote ; avec

quelques cas de prépondérance dans la partie aérienne.

6° La *luzerne*, enfin, a donné les gains d'azote les plus forts de tous : gains s'élevant à 500 kilogrammes, 600 kilogrammes, et même au delà de 700 kilogrammes par hectare calculé. Sous cloche, elle ne s'est guère développée mieux que le lupin ; mais à l'air libre, avec ou sans abri, l'azote s'est accru jusqu'aux 30 et 40 centièmes de sa dose initiale dans le système total (terre et plante réunies). L'influence de l'absence d'abri, c'est-à-dire celle de la pluie, a été minime, comme d'ailleurs dans les cas précédents.

Ce gain d'azote n'a porté que pour une dose limitée sur la terre, souvent le tiers ou le quart de l'azote total fixé sur le système ; dose comparable en gros à celle observée avec la vesce et le *Medicago lupulina*. Mais l'azote de la luzerne a pris plus d'accroissement que pour aucune autre plante, la dose en étant devenue jusqu'à 16 fois celle de l'azote initial ; le *Medicago lupulina* se rapproche cependant de la luzerne à cet égard. La grandeur de la fixation d'azote sur ces deux plantes est certainement liée avec la durée plus longue des expériences faites sur elles et avec le degré plus avancé de leur végétation.

L'azote fixé sur la luzerne se rapportait, pour la majeure partie, à la région souterraine ; tandis que la partie aérienne de la première récolte n'en contenait qu'une fraction relativement faible, celle de la seconde récolte étant plus notable.

Cette prépondérance des racines de la luzerne s'accorde avec l'accumulation des matières minérales tirées du sol, qui caractérise les racines de cette plante. Elle a lieu sans doute, je le répète, en vertu d'une vie commune aux microbes de la terre et de la plante; et elle atteste l'origine réelle de l'azote fixé sur les légumineuses. Enfin elle concourt à rendre

compte de la végétation persistante des légumineuses pendant plusieurs années consécutives.

Toutes ces circonstances corroborent et précisent, je le répète, le grand fait de la fixation de l'azote par le sol, et elles montrent comment il intervient avec le concours de la végétation, celui des racines spécialement, dans l'accumulation de l'azote, observée depuis longtemps pendant la culture de certaines légumineuses. Une multitude de phénomènes de la plus haute importante pour l'Agriculture trouvent par là leur interprétation.

CHAPITRE XI

FIXATION DE L'AZOTE PAR LES ACIDES HUMIQUES (1892)

J'ai établi la fixation de l'azote atmosphérique par les microrganismes contenus dans la terre végétale, et cette vérité, acceptée aujourd'hui après de longues discussions, a renversé les anciennes théories relatives à l'impuissance prétendue de l'azote atmosphérique libre à intervenir directement dans la nutrition des êtres vivants. Mais les mécanismes suivant lesquels cette fixation s'accomplit demeurent encore obscurs : c'est pour essayer de les éclaircir que j'ai entrepris, en juin 1892, les expériences qui vont être exposées, et dont j'ai fait connaître les résultats à l'Académie, au mois d'octobre de la même année.

La fixation de l'azote a lieu, je le répète, par l'intermédiaire de certains microrganismes, de l'ordre des plantes inférieures contenues au sein de la terre végétale ; elle s'accomplit sur les principes organiques que l'analyse constate dans le sol. Ces faits sont établis par mes expériences antérieures ; mais l'on n'a pas décidé jusqu'ici si les principes enrichis en azote constituent les composants permanents des tissus des microorganismes ; ou bien s'ils ne font que traverser ces tissus, de façon à en sortir modifiés dans leur composition, comme on l'admet aujourd'hui pour la fixation de l'oxygène par les mycodermes de la fermentation acétique. On peut se demander encore si les microrganismes du sol n'ont pas besoin, pour fixer l'azote, du concours des plantes vertes.

Soit que l'on admette la théorie de la symbiose, développée par MM. Hellriegel et Willfarth dans leurs recherches sur les Légumineuses, les tissus entrelacés du microbe et de la plante verte vivant d'une vie commune ;

Soit que les microrganismes, provenant de la terre et vivant pour leur propre compte, trouvent simplement au sein de la Légumineuse, à la façon d'un parasite, des conditions et un milieu favorables, grâce auxquels ils fixeraient l'azote sur leurs tissus spéciaux, en engendrant de nouveaux principes azotés ; ces derniers étant utilisables ultérieurement et d'une façon indépendante, pendant la nutrition de la Légumineuse, qui sert de support momentané aux agents microbiens.

Ces problèmes sont trop intéressants et trop complexes pour être décidés d'un seul coup ; mais j'ai pensé que l'on pourrait apporter quelque lumière à leur solution, en fournissant aux microbes des aliments plus simples et mieux connus que l'ensemble indéfini des matériaux de la terre végétale. Je me suis adressé aux acides humiques, qui forment une très petite fraction de cette dernière, tout en constituant la partie essentielle des principes hydrocarbonés du sol.

D'une part, j'ai opéré sur un acide humique naturel, retiré d'un sol pris dans ces terrains de la station de Chimie végétale de Meudon qui possèdent la propriété de fixer l'azote ; et, d'autre part, sur l'acide humique artificiel, préparé au moyen du sucre.

L'acide humique naturel a été extrait du sol par la potasse à froid et précipité par l'acide chlorhydrique ; il contenait 3,61 centièmes d'azote. Au contraire, l'acide humique artificiel était exempt d'azote et de cendres ; ou, plus exactement, il contenait, sur 1 gramme de matière, un cinquième de milligramme d'azote, d'après des analyses très précises.

I. J'ai pris 5 grammes (soit $4^{gr},725$ séchés à 110°) d'acide humique naturel ; je les ai introduits dans un flacon de 6 litres rempli d'air; j'ai versé dessus 5 centimètres cubes d'eau distillée, puis 2 centimètres cubes d'eau qui contenait en suspension des végétaux inférieurs verdâtres, développés au fond d'un flacon contenant de l'eau ordinaire et exposé à un faible éclairage. La quantité de matière organique ainsi introduite est presque impondérable; mais le liquide renferme les semences d'êtres vivants multiples, parmi lesquels certains sont capables d'assimiler l'azote. D'ailleurs, ce ne sont pas toujours des plantes vertes qui se développent corrélativement, ainsi qu'il va être dit, la spécification des microrganismes fixateurs d'azote demeurant à préciser : elle sera faite dans un autre chapitre.

J'avais signalé, dès le début de mes recherches, l'apparition de végétations vertes dans mes flacons, mais sans en tirer de conclusions; ayant observé que la fixation de l'azote avait lieu pareillement, en l'absence de plantes vertes et en présence seulement de végétaux microscopiques incolores : MM. Franck, de Berlin, et Schlœsing fils nous ont apporté à cet égard de nouvelles lumières. Mais la question demeure ouverte, et toute conclusion absolue à cet égard me semble, à l'heure actuelle, prématurée (1). Je poursuis d'ailleurs l'étude spécifique des microrganismes fixateurs d'azote, bactéries et végétaux microscopiques, en même temps que celle des aliments qui leur sont favorables.

Mais revenons à l'exposition de mes nouvelles expériences sur ce dernier point. Après introduction des matériaux, le flacon a été fermé avec un bouchon à l'émeri, enduit d'une trace de vaseline, de façon à assurer une clôture hermétique.

(1) Je l'ai tranchée depuis, par les faits contenus dans le chapitre suivant.

a) Un second flacon a été disposé de la même manière au moyen de l'acide humique naturel, sauf cette différence qu'on y a introduit 100 centimètres cubes d'eau distillée.

b) Je relaterai une autre expérience analogue, exécutée en 1891-1892, sans autre concours que celui des poussières de l'air.

c) Dans un autre flacon, on a mis 5 grammes d'acide humique artificiel, 15 centimètres cubes d'eau distillée et 2 centimètres cubes du même liquide d'ensemencement.

d) Enfin, dans un dernier flacon, on a mis 5 grammes d'acide humique artificiel, 100 centimètres cubes d'eau distillée et 2 centimètres cubes du liquide d'ensemencement.

Les flacons ont été placés sur une planche et exposés à la lumière diffuse, de façon à ne jamais recevoir l'éclairage direct des rayons solaires.

Dans ces conditions, on opère sur un volume d'air limité et invariable, et l'on évite toute introduction des matières étrangères contenues dans une atmosphère illimitée. La fixation de l'azote peut être constatée dès lors par la *méthode la plus directe* et la plus certaine, à savoir son dosage dans les principes organiques renfermés au sein du vase.

Les expériences ont duré du 30 juin au 22 octobre 1892, c'est-à-dire près de quatre mois, à la température ambiante.

Dans tous les flacons, il s'est développé des végétaux microscopiques blanchâtres, d'espèces multiples ; il s'est formé en même temps une proportion notable d'acide carbonique, due à l'action de l'oxygène sur l'acide humique; action exercée en partie par une influence purement inorganique, ainsi que je l'ai établi ailleurs (1), en partie aussi sans doute sous une influence microbienne.

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, 6e série, t. XXV, p. 420.

Cette formation d'acide carbonique par oxydation immédiate mérite attention ; car tel est probablement l'intermédiaire à l'aide duquel le carbone a passé de l'acide humique aux végétaux développés dans le flacon.

A la fin de l'expérience, il est nécessaire d'employer quelque artifice pour récolter la matière organique, en partie adhérente aux vases. Voici comment j'ai opéré.

Soit d'abord la première expérience exécutée avec l'acide humique naturel.

Le flacon a été coupé par le milieu, d'un trait de lime, avec le concours de la lampe ; puis on a décanté la liqueur dans une capsule, on a détaché à l'aide d'une spatule de platine tout ce que l'on a pu, en réunissant dans la capsule les matériaux obtenus. Après évaporation, le poids total de la matière qui était demeurée fixe, à la température de 110°, dans la capsule, s'élevait à $4^{gr},641$.

Cependant elle ne comprenait pas la totalité du produit, une portion des matériaux organiques étant demeurée adhérente au verre. Pour en compléter l'extraction, ce qui exige une friction assez énergique, on a eu recours au tour de main suivant. On a choisi du coton pur, ne contenant qu'un demi-millième d'azote (d'après dosage rigoureux) ; on en a mis dans un vase taré quelques flocons et l'on en a pris le poids ; puis, après dessiccation, on les a saisis un à un avec une pince et l'on s'en est servi pour nettoyer soigneusement le flacon. L'opération a été répétée trois fois, de façon à ne rien laisser de visible dans ce dernier. Le poids total des flocons qui ont servi à l'opération, déterminé exactement par la pesée du vase qui les avait contenus, était facile à connaître. Pour citer un exemple, il s'élevait dans une opération à $0^{gr},200$.

On a placé ces flocons, joints à la matière qu'ils avaient

servi à récolter, dans une seconde capsule tarée; on les a séchés à 118° et l'on a repesé le tout après dessiccation : ce qui a fourni les poids réunis des flocons et de la seconde partie de la matière récoltée. Le poids des flocons étant connu, on en déduit celui de la matière récoltée : soit 0gr,040 dans l'expérience actuelle ; ce qui fait en tout 4gr,681.

Ainsi le poids de matière retrouvé dans le premier flacon s'élevait à 4gr,681 (séché à 110°) ; au lieu de 4gr,725 initial. La différence était due aux pertes d'acide carbonique et d'eau, compensées en partie par des fixations d'oxygène, et aussi à la difficulté de récolter entièrement la matière mise à l'origine dans les flacons : en raison de cette dernière circonstance, les gains obtenus sont évalués trop bas.

On a dosé l'azote séparément, dans la matière séchée dans la première capsule, soit : 0gr,1886 ;

Et d'autre part, dans le coton mêlé avec le dernier produit : soit 0gr,0024. Mais il faut retrancher de ce dernier 0gr,0001 d'azote, provenant du coton employé. Reste : 0gr,0023.

Ainsi

	gr.
On a retrouvé un poids d'azote final combiné égal à 0gr,1886 + 0,0032 =	0,1909
Or l'acide humique primitif, analysé avec le même poids de la même chaux sodée (1), en renfermait....	0,1805
Gain...........	0,0104 ; soit 6 centièmes.

La même marche a été suivie dans les autres expériences.

(1) En opérant ainsi, on élimine l'erreur attribuable à la présence de traces d'azote dans la chaux sodée. La dose d'azote fournie par la chaux sodée employée était d'ailleurs à peu près négligeable. En effet.

2gr,0 de coton + 50 gr. de chaux sodée ont fourni : azote....	0,00117
0gr,2 de coton + 50 gr. de chaux sodée....................	0,00009

c'est-à-dire que 50 grammes de la chaux sodée employée ne fournissaient pas, en présence d'une petite quantité de matière organique, un sixième de milligramme d'azote.

II. *Acide humique naturel.* — Poids total de matière retrouvée : $4^{gr},618$, au lieu de $4^{gr},725$ initial.

	gr.
Poids d'azote combiné final..........	2,1961
Poids combiné initial................	2,1805
Gain...........	0,0156; soit 9 centièmes.

Il y a donc eu gain d'azote dans les deux cas, la matière humique ayant servi d'aliment aux microbes.

En traitant une portion de la matière finale par l'eau, on a vérifié que l'extrait aqueux ne contenait pas trace de nitrates, mais seulement une dose d'azote ammoniacal (ou de corps azoté susceptible d'en fournir aisément) égale à $0^{mgr},12$.

III. Ces expériences avaient été précédées par une autre, exécutée depuis le mois d'octobre 1891 jusqu'au mois de juin 1892, sur 5 grammes du même acide humique naturel, mouillé et abandonné dans un grand flacon. On avait fait traverser à plusieurs reprises ce flacon par 2 à 3 litres d'un courant d'air non purifié, puisé dans l'atmosphère libre, c'est-à-dire contenant des traces de poussières provenant du sol ambiant.

Il s'y est développé spontanément des moisissures et végétations diverses, les unes vertes, les autres blanchâtres et zoogléiques. Par l'analyse, on a retrouvé :

	gr.
Matière totale......	4,867
Azote final....	0,2350
Azote initial............... ...	0,1805
Gain..........	0,0545 ou 30,3 p. 100.

Ce gain est plus considérable que les précédents, soit en raison de la durée plus longue de l'expérience, soit à cause de la nature plus active des espèces microbiennes multiples qui ont déterminé la fixation de l'azote.

Venons maintenant aux expériences exécutées avec l'acide humique artificiel, composé à peu près exempt d'azote.

IV. Dans une expérience exécutée en présence de 15 grammes d'eau pure et de 5 grammes d'acide humique artificiel, on a obtenu :

	gr.
Matière totale retrouvée	4,9735
Azote final	0,0036
Azote initial	0,0010
Gain	0,0026

V. En présence de 100 grammes d'eau pure :

	gr.
Matière totale retrouvée	4,940
Azote final	0,0034
Azote initial	0,0010
Gain	0.0024

Dans les deux cas, il y a eu fixation d'azote : fixation plus que double du poids de cet élément combiné contenu dans la matière primitive. Elle est faible d'ailleurs en valeur absolue; sans doute parce que l'acide humique artificiel, étant presque entièrement exempt d'azote et de cendres, est un aliment insuffisant pour les microbes.

J'ajouterai que le dosage de l'azote initial dans l'acide humique artificiel indiqué ci-dessus, a été répété deux fois. En octobre 1892, il a fourni, sur 5 grammes de matière : $0^{gr},0010$ d'azote.

Ce même dosage avait été exécuté une première fois en décembre 1891, sur le même échantillon; ce qui avait fourni, pour 5 grammes de matière : $0^{gr},00065$; résultat qui ne diffère pas du précédent, dans les limites d'erreur, car il s'agit d'un tiers de milligramme.

On a analysé en même temps le même acide humique, oxydé et jauni pendant le même temps, avec perte d'acide

carbonique, en vase clos, sous les influences simultanées de l'air et de la lumière, lequel a donné également, pour 5 grammes : $0^{gr},0010$ d'azote.

Le même acide enfin, ayant subi en vase clos les influences simultanées de l'air, de la lumière et de l'eau, a donné, toujours pour 5 grammes de matière : $0^{gr},0009$ d'azote.

Les nombres ci-dessus, en même temps qu'ils contrôlent la précision des méthodes employées, montrent qu'il n'y a pas fixation d'azote par le seul fait d'une oxydation purement chimique de l'acide humique, telle qu'elle est accomplie sous les influences simultanées de l'air et de la lumière : ce qui fait ressortir l'intervention des microrganismes dans les résultats constatés plus haut.

Ces résultats permettent dès lors de pousser plus loin l'analyse des phénomènes qui président à la fixation de l'azote, en remplaçant la terre végétale, prise dans son ensemble, par l'un des principes organiques qui y sont contenus, lequel joue vis-à-vis des microrganismes le rôle de support et d'aliment.

CHAPITRE XII

NOUVELLES RECHERCHES SUR LES MICRORGANISMES FIXATEURS DE L'AZOTE

Voici de nouvelles recherches sur les microrganismes qui déterminent la fixation de l'azote par la terre végétale. Le fait de la fixation étant démontré, ainsi que la possibilité d'isoler certains de ces microrganismes et de les faire agir dans un milieu nutritif approprié, je me suis proposé cette fois d'isoler des espèces définies et de les cultiver dans des milieux artificiels, plus faciles à connaître et à modifier que l'ensemble complexe qui constitue la terre naturelle. Je me suis attaché surtout aux bactéries tirées du sol et à certains végétaux inférieurs, exempts de chlorophylle. M. Guignard, professeur à l'École supérieure de Pharmacie, a bien voulu me prêter, dans cette étude délicate, l'aide de ses connaissances spéciales, et je lui en témoigne ici toute ma reconnaissance, ainsi qu'à M. Costantin, qui a bien voulu me fournir aussi son précieux concours. Ai-je besoin de rappeler le concours dévoué que M. André n'a cessé de me prêter dans ces longues et délicates études ?

Donnons d'abord quelques détails sur les microrganismes utilisés dans mes expériences. Ce sont :

1° Des bactéries ou microbes extraits du sol végétal et employés, tant à l'état de mélange qu'à l'état d'espèces isolées;

2° Les bactéries fixées sur les racines des Légumineuses (Lupin) ;

3° Les semences pures de l'*Aspergillus niger;*

4° Les semences pures de l'*Alternaria tenuis;*

5° Un *Gymnoascus;*

6° Enfin diverses espèces de Champignons.

Voici comment les bactéries du sol ont été extraites par M. Guignard, à mon intention ; la recherche étant dirigée de façon à isoler autant que possible des espèces définies et à en exalter la vitalité, suivant les méthodes usitées en microbiologie.

Une parcelle de terre du jardin botanique de l'École de Pharmacie a été délayée dans quelques centimètres cubes de bouillon de culture stérilisé (p. 391), et le tout abandonné à l'étuve à 20°. Au bout de douze heures, le bouillon de culture présentait un trouble marqué.

Un second ensemencement, fait avec ce produit, a été exécuté dans un nouveau ballon contenant du bouillon de culture, et il a donné, dans les mêmes conditions de température, un trouble abondant.

Enfin, une prise d'essai, faite avec un fil de platine au sein de ce second bouillon, a été diluée dans trois tubes successifs, contenant chacun quelques centimètres cubes de bouillon stérilisé.

La dernière dilution a servi à ensemencer une plaque de gélatine qui, mise à l'étuve à 22°, a présenté, au bout de deux jours, de nombreuses colonies d'aspects divers, les unes liquéfiant la gélatine, les autres ne la liquéfiant pas.

Un certain nombre de ces colonies ont été ensemencées dans un bouillon et dans des tubes gélatinés ; elles ont fourni des cultures pures de bactéries ou microbes, que nous avons étiquetés A, B, C, D, E, F, G.

L'examen microscopique, joint à l'observation des cultures, a permis de constater quelques différences spécifiques entre plusieurs de ces organismes.

Les microbes A, B, E, F, sur lesquels ont porté les expériences ultérieures, présentaient les caractères suivants :

A. Bacille : longueur $2^{\mu},1$; largeur $0^{\mu},8$. Il ne liquéfie pas la gélatine; mais il développe à sa surface des mamelons saillants, visibles à l'œil nu, d'aspect gras. En présence du bouillon de culture, il produit, après douze heures, un trouble général; à la surface, un voile épais qui tombe au fond du liquide. Ce microbe paraît le même, dans son aspect général, que celui qui a déterminé la fixation de l'azote, avec le concours de l'acide humique, dans mes précédentes expériences.

B. Bacille : longueur $2^{\mu},1$; largeur $0^{\mu},6$. En piqûres sur la gélatine, il y forme rapidement un entonnoir et la liquéfie.

C et D ont paru identiques avec B.

E. Bacille : longueur $3^{\mu},1$; largeur $0^{\mu},9$. Liquéfie la gélatine.

F. Bacille : longueur $1^{\mu},4$; largeur $0^{\mu},5$. Il ne liquéfie pas la gélatine ; il y produit des colonies très plates, sèches, écailleuses.

Les colorations ont été faites par les méthodes de Grank et de Lœffler.

Un ballon n° 1, contenant le mélange des microbes du sol (bacilles divers et filaments de dimensions variées), obtenu en premier lieu avant les dernières cultures, a également servi aux expériencss.

Les ensemencements ont été effectués dans des milieux nutritifs, variables suivant la nature des semences, mais qui avaient ceci de commun, d'être riches en éléments hydrocarbonés et de contenir une certaine dose d'azote, réputée suffisante pour entretenir la vie au début, mais assez faible pour que l'accroissement relatif de cet élément ne pût devenir considérable.

On a employé à cet effet des mélanges divers, renfermant

de l'acide humique, du kaolin naturel, de l'acide tartrique, du sucre, la liqueur de Cohn diluée, une liqueur analogue exempte d'acide libre, composée par M. Guignard (1), etc.

Dans tous les cas, on ajoutait une dose d'eau suffisante pour donner à la masse une consistence pâteuse et l'on ramenait celle-ci à la même consistance, en cas de dessiccation.

On remarquera qu'il s'agit de constituer un milieu nutritif faiblement azoté et cependant tel qu'il suffise, pendant des mois, à entretenir des êtres inaptes à fixer le carbone de l'acide carbonique de l'air. La chose est d'autant plus délicate que la connaissance des conditions propres à la vie de tels êtres est jusqu'ici peu avancée : c'est l'une des principales difficultés de ce genre d'expériences.

Celles-ci ont été effectuées dans des vases divers, tels que ballons et flacons, dont la capacité a varié de 6 litres à $0^{lit},5$. On introduisait dans ces ballons et flacons les mélanges nutritifs et on les stérilisait, en chauffant le tout dans une marmite de Papin, à 125°. Le col des ballons était obturé par un tampon de coton, qui se trouvait stérilisé simultanément. Quelques-uns des flacons étaient bouchés à l'émeri. Dans un certain nombre d'essais comparatifs, on a opéré avec des conserves recouvertes d'une glace, ou placées sous une cloche; conditions où la stérilisation à chaud serait superflue, le système n'étant pas exactement à l'abri de la rentrée des poussières de l'air.

L'ensemencement a été effectué avec les précautions connues.

Tous ces vases ont été disposés dans des étuves vitrées et

(1)

Eau	100	grammes.
Tartrate d'ammoniaque	2	—
Phosphate bipotassique	0,02	centigrammes.
Sulfate de magnésie	0,4	—
Chlorure de sodium	0,002	milligrammes.

maintenues à une température comprise entre 20° et 25°, pendant plusieurs mois. Cette durée est certainement trop longue, la fixation de l'azote étant assez rapide ; mais nous en avons reconnu la vitesse relative trop tard pour instituer des expériences plus courtes.

Enfin, dans chaque série d'essais, on a eu soin de prendre des vases témoins, renfermant les mêmes mélanges stérilisés, mais non ensemencés, et qui étaient soumis exactement aux mêmes conditions. Les variations de leur composition représentent à la fois les limites d'erreur et l'influence possible de l'atmosphère ambiante.

Dans le cas où les vases sont tout à fait clos, leurs dimensions doivent être telles, qu'il subsiste une proportion notable d'oxygène libre à la fin de l'expérience. Mais, si le col est simplement obturé par un tampon de ouate, le renouvellement lent de l'atmosphère intérieure suffit pour assurer cette condition.

Cependant il convient d'ajouter que les conditions d'oxydation ne doivent pas être trop actives, ainsi que j'en ai fait déjà la remarque (1). Si la couche ensemencée est trop mince, c'est-à-dire si le rapport entre l'oxygène de l'air et la matière organique vivante est trop immédiat et considérable, les microrganismes efficaces sont détruits; ou, plus exactement, ils cessent de fixer l'azote. (Ce volume, p. 224.)

En raison de ce fait, les ballons de 6 litres ont fourni pour la plupart des résultats nuls, quelques-uns même des pertes d'azote; tandis que les flacons et ballons de 1 litre et de 600 centimètres cubes à 500 centimètres cubes renfermant des mélanges identiques, et placés exactement dans les mêmes conditions, sauf l'épaisseur de la couche de matière intérieure,

(1) *Sur quelques conditions générales de la fixation de l'azote par la terre végétale.* (Ce volume, p. 139.)

donnaient lieu à des fixations d'azote souvent très fortes. Un tel résultat est d'autant plus digne d'intérêt qu'il tend à exclure, dans le cas des vases non bouchés à l'émeri, l'hypothèse d'une absorption notable de composés azotés, empruntés à l'atmosphère. Cette hypothèse, d'ailleurs, est exclue également par l'emploi des flacons bouchés à l'émeri et par les expériences de contrôle, faites simultanément sur les témoins non ensemencés.

Voici le tableau des résultats observés.

Première série. — *Bactéries du sol.* Étuve 20 à 25. Décembre à Mars : trois mois et demi.

Nature du microrganisme.	Mélange nutritif.	Vases.	Azote initial.	Azote final.	Gain en centièmes de l'azote initial.
I. Bactéries du sol mélangées.	Acide humique.	Flacon de 1 litre bouché à l'émeri, stérilisé.	7,7	12,2	Gain 57 p. 100.
»	»	Ballon de 6 litres stérilisé, fermé avec coton.	38,4	36,0	Perte légère.
»	Acide humique et kaolin.	Flacon de 1 litre bouché à l'émeri, stérilisé.	8,3	12,7	52 p. 100.
»	»	Ballon de 6 litres stérilisé, fermé avec coton.	41,3	41,1	Nul.
»	Kaolin.	Flacon de 1 litre bouché, stérilisé.	7,9	19,7	150 p. 100.
»	»	Ballon de 6 litres stérilisé, etc.	34,5	45,5	32 —
II. Bactéries A.	Acide humique, kaolin, liquide Cohn.	Flacon de 1 litre bouché, stérilisé.	10,2	18,6	80 —
»	»	Ballon de 600 c. c. stérilisé, fermé avec coton.	13,3	19,2	44 p. 100.
III. Témoin non ensemencé.	»	»	13,0	14,0	Nul.
IV. Bactéries B.	»	Ballon de 6 litres stérilisé, etc.	42,3	47,0	Douteux ou négligeable.
»	»	Flacon de 1 litre bouché, stérilisé.	11,0	13,0	
»	Kaolin, sucre, acide humique.	Ballon de 600 c.c. fermé avec coton.	17,0	19,0	
V. Bactéries E.	Kaolin, acide humique, liquide Cohn.	Flacon de 1 litre stérilisé, etc.	10,7	18,6	74 p. 100.
»	Kaolin, sucre, liquide Cohn.	Ballon de 600 c. c. stérilisé, etc.	13,8	18,9	37 —
VI. Bactéries F.	Acide humique, kaolin, liquide Cohn.	Ballon de 6 litres stérilisé, etc.	42,9	44,0	Nul.
»	»	Flacon de 1 litre bouché, stérilisé.	11,0	13,0	
»	Kaolin, sucre, liquide Cohn.	Ballon de 600 c. c. stérilisé.	16,4	16,[illegible]	

Il résulte de ces expériences que le sol renferme certaines bactéries qui déterminent la fixation de l'azote sur les matières organiques susceptibles de concourir à leur nutrition. Cette propriété est manifeste avec les bactéries mélangées, employées dans les premiers essais. Mais elle n'appartient pas à toutes indistinctement; car elle existe pour les bactéries A et E, tandis que les bactéries B et F n'ont fourni que des variations nulles, ou du même ordre de petitesse que le témoin.

Ces résultats ont été obtenus avec des liquides stérilisés et des cultures pures. Ils auraient été sans doute plus accusés, si la trop longue durée des essais et la dessiccation des matériaux n'avaient pas fini par amener la mort des bactéries.

DEUXIÈME SÉRIE. — *Bactéries des racines de Légumineuses (Lupin).*

On a écrasé avec de l'eau les racines de Lupin, pourvues des tubercules spécifiques, et l'on s'est servi de deux gouttes de cette eau pour ensemencer. Le milieu nutritif était formé d'acide humique, avec du liquide Cohn. Il a paru inutile de le stériliser, en raison du caractère de l'ensemencement actuel. L'expérience a duré du 1er décembre 1892 au 29 mars 1893, dans une étuve chauffée à 20°-25°.

	Azote initial.	Azote final.	Gain.	
Flacon d'un litre, bouché...........	10,6	15,9	50 p.100	Bactéries mortes à la fin par dessiccation.
Cristallisoir recouvert d'une plaque.	10,6	15,9	50 —	

Il y a eu fixation d'azote, comme avec les bactéries A et E du sol.

Troisième série. — *Aspergillus niger*. Semence pure. Étuve 20-25°.

Mélange nutritif.	Vases.	Durée.	Azote initial.	Azote final.	Gain en centièmes.	Poids final de la matière totale.	Remarques.
I. Liqueur Cohn, 1 gramme acide tartrique, non ensemencé.	Ballon de 600 centimètres cubes stérilisé, fermé avec coton.	Un mois	24,9	24,4	Nul	»	Témoin.
II. Liqueur Cohn, 1 gramme acide tartrique, ensemencé.	Ballon de 600 centimètres cubes stérilisé, fermé avec coton.	»	24,9	31,3	26 p. 100	0gr,465	»
	Cristallisoir sous une cloche posée sur plaque rodée.	»	27,1	32,9	22 —	»	»
III. Liqueur Cohn, 1 gramme acide tartrique, ensemencé.	Idem.	»	27,1	37,1	37 —	0gr,406	»
III. Liqueur Cohn, 1 gramme acide tartrique, ensemencé.	Cristallisoir sous cloche.	»	27,1	32,1	18 —	»	Placé dans un champ électrique, sous l'influence continue d'un potentiel de 132v.
III.	Idem.	»	27,1	36,6	35 —	0gr,314	Idem.

Dans deux de ces expériences (III), on a fait intervenir un champ électrique, dont l'influence sur le développement de l'*Aspergillus* n'a pas été sensible. L'*Aspergillus* s'est d'ailleurs bien développé et il a fructifié dans tous les essais. Il subsistait vivant, à la fin. A ce moment, les liqueurs renfermaient en outre des traces de mucorinées. On remarquera que l'*acide tartrique, employé comme milieu nutritif, a été consommé*, ou détruit, en proportion considérable.

Une autre série similaire a donné des résultats du même ordre, le témoin n'ayant pas non plus varié sensiblement et l'électricité n'ayant pas exercé d'influence spéciale. Les vases ensemencés ont produit cette fois des accroissements d'azote, qui se sont élevés jusqu'au triple de la dose initiale; mais les cultures étaient moins pures, l'*Aspergillus* se trouvant mêlé à la fin avec une dose notable de moisissures (*Penicillium?*).

QUATRIÈME SÉRIE. — *Alternaria tenuis.*

Mélange nutritif.	Vases.	Durée.	Azote initial.	Azote final.	Gain en centièmes.
I. Kaolin, sucre, liqueur de Cohn, non ensemencé.	Ballon de 600 c.c. stérilisé, bouché avec du coton.	Du 1er déc. 1892 au 9 avril 1893.	11,3	13,0	Nul ou négligeable. Témoin.
II. Kaolin, sucre, liqueur de Cohn.	Ballon de 600 c.c. stérilisé, etc.	»	18,1	26,9	49 p. 100
»	»	»	18,1	27,1	50 —
»	»	»	18,1	24,7	36 —
III. Autre mélange nutritif.	»	»	11,3	22,4	98 —

Le végétal s'est bien développé; culture pure.

CINQUIÈME SÉRIE

Dans une autre série similaire, une moisissure analogue, jaunâtre, exempte de chlorophylle, constituée par un *Gym-*

noascus (1), à l'état ascophore, et qui paraissait répondre à une culture pure, a été produite par un ensemencement exécuté à l'aide de quelques parcelles du sable argileux de la station de Chimie végétale de Meudon. En même temps, on a observé des fixations d'azote, s'élevant respectivement à 37, à 75 et à 143 centimètres, dans trois essais distincts ; le détail en est exactement semblable à celui des expériences précédentes.

Ces expériences montrent qu'il existe des microrganismes, d'espèces fort diverses, exempts de chlorophylle, et aptes à fixer l'azote : spécialement certaines bactéries du sol. On remarquera que la nutrition de ces êtres ne paraît pas susceptible d'être entretenue par le carbone et l'hydrogène, résultant de la décomposition de l'acide carbonique et de l'eau atmosphériques ; *elle est dès lors corrélative de la destruction de certains principes hydrocarbonés, tels que le sucre ou l'acide tartrique*, jouant en quelque sorte le rôle d'aliments pour les bactéries et microrganismes. C'est ce que montrent les pesées exécutées dans la troisième série d'expériences. En même temps que les microbes fixent l'azote, il faut qu'ils rencontrent dans le milieu où ils vivent des matières propres à les nourrir. Il paraît même utile que ces matières renferment déjà quelque peu de principes azotés, pour donner aux êtres inférieurs le minimum de vitalité indispensable à l'absorption de l'azote libre. Mais, si ces principes azotés sont trop abondants, la bactérie vivra de préférence à leurs dépens : l'expérience prouve qu'elle est plus florissante dans les milieux riches en azote combiné que dans les milieux pauvres, où elle est obligée d'exécuter un travail spécial pour fixer

(1) D'après la détermination de M. Costantin.

l'azote libre. Cette condition a dû tendre à limiter la fixation de l'azote dans les expériences actuelles ; car, dès que la dose d'azote est devenue suffisante, la bactérie doit continuer à vivre aux dépens des débris des générations antérieures. C'est sans doute une condition de ce genre qui a déterminé la limite de l'absorption de l'azote par certains sols, dans mes anciennes observations (1).

Dans tous les cas, le sol végétal, ou plus exactement les composés hydrocarbonés qu'il contient, s'épuiseraient plus ou moins rapidement, sous ces influences multiples, si les matières organiques nécessaires n'étaient pas régénérées par la végétation des plantes pourvues de chlorophylle. Les fixateurs d'azote et les fixateurs de carbone jouent dès lors un rôle complémentaire : soit qu'ils vivent d'une façon indépendante les uns des autres, soit qu'ils aient été associés par symbiose, comme il arrive pour les Légumineuses. En tout cas, le point de départ de la fixation de l'azote réside, non dans les végétaux supérieurs, mais dans certains des microrganismes inférieurs qui peuplent la terre végétale.

Ce Mémoire a été lu à l'Académie le 24 avril 1893. Deux mois après, il a reçu une confirmation remarquable par un travail de M. Winogradsky, exécuté par une méthode analogue et avec des résultats non moins caractérisés. En effet, ce savant a isolé un grand bacille qui détermine la fixation de l'azote, même dans des milieux qui en étaient primitivement exempts, mais en produisant, précisément comme dans mes expériences, la destruction des principes hydrocarbonés qui lui servent d'aliments.

(1) Ce volume, p. 142-145.

La doctrine de la fixation de l'azote élémentaire par les organismes inférieurs du sol, doctrine que j'ai introduite dans la science depuis huit années, se développe ainsi de plus en plus, et la connaissance des mécanismes qui y président est chaque jour davantage approfondie.

LIVRE II

FIXATION CONTINUE DE L'AZOTE LIBRE SUR LES COMPOSÉS ORGANIQUES ET SUR LES VÉGÉTAUX, SOUS L'INFLUENCE DE L'ÉLECTRICITÉ ATMOSPHÉRIQUE A FAIBLE TENSION.

INTRODUCTION

J'ai découvert en 1876 et 1877 que l'azote libre est absorbé à la température ordinaire par les composés organiques, et notamment par les principes immédiats des végétaux, sous l'influence de l'effluve électrique, autrement dite décharge silencieuse, et j'ai vérifié que la même absorption a lieu sous l'influence des tensions les plus faibles, et même sous l'influence de l'électricité atmosphérique normale, agissant en dehors des orages et des décharges disruptives. Je crois utile de reproduire ici ces expériences, en raison de leur application incontestable aux phénomènes de la végétation en plein air.

Elles sont exposées dans trois chapitres : l'un relatif à l'absorption de l'azote par l'effluve à forte tension, en général; l'autre à l'absorption de l'azote sous l'influence des faibles tensions; enfin un troisième chapitre relatif à l'absorption de l'azote sous l'influence même de l'électricité atmosphérique.

Durant l'année 1890, j'ai réalisé l'absorption de l'azote par les plantes elles-mêmes, disposées en vases clos dans un

champ électrique, c'est-à-dire dans des conditions comparables avec l'action de l'électricité atmosphérique sur les végétaux : ce sera l'objet d'un quatrième chapitre.

Enfin, tout récemment, j'ai poursuivi ces expériences dans tout l'ensemble des composés organiques et j'ai montré suivant quelles proportions, jusqu'à quelles limites, ces composés fixent l'azote, et quel est le caractère général des corps qui prennent ainsi naissance. Cette recherche, d'une étendue considérable, a été imprimée dans les *Annales de Chimie et de Physique* (janvier 1899). Il y a là une méthode de synthèse extrêmement étendue et singulièrement féconde, car elle s'étend à tous les groupes et fonctions organiques, tant naturels qu'artificiels. On peut même rapprocher jusqu'à un certain point le caractère de l'effluve, des transformations chimiques accomplies dans le cours de la nutrition et de l'évolution des êtres vivants : surtout si l'on tient compte des phénomènes en courants électriques, dont le développement incessant a été constaté dans leurs tissus. Cependant, le caractère des dernières études que je viens de citer étant plutôt chimique que physiologique, je me bornerai à les signaler, sans les reproduire ici, pour ne pas trop grossir le présent volume.

CHAPITRE PREMIER

FIXATION ÉLECTRIQUE DE L'AZOTE PAR L'EFFLUVE SUR LES COMPOSÉS ORGANIQUES

Absorption de l'azote libre et pur par les matières organiques à la température ordinaire.

J'ai trouvé que l'azote libre et pur est absorbé, à la température ordinaire, par les composés organiques, sous l'influence de l'effluve électrique (décharge silencieuse, fig. 5).

L'expérience est très nette avec la benzine, composé exempt d'oxygène : 1 gramme de benzine absorbe en quelques heures plusieurs centimètres cubes d'azote, et finalement jusqu'à 12 centièmes de son poids. La réaction s'opère principalement entre la benzine électrisée, en vapeur, ou sous forme de couches liquides très minces, et le gaz azote. Elle donne lieu à un composé polymérique et condensé, qui se rassemble à l'état de résine solide, à la surface des tubes de verre à travers lesquels la décharge s'effectue (1). Ce composé, chauffé fortement, se décompose avec dégagement d'ammoniaque. Mais l'ammoniaque libre ne préexiste, ou ne se forme par l'effluve, ni à l'état dissous dans l'excès de benzine, ni dans les gaz ; ces derniers renferment d'ailleurs un peu d'acétylène, lequel apparaît constamment au début de la réaction de l'effluve sur les carbures d'hydrogène, pour disparaître ensuite.

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, 7e série, t. XI, p. 38.

L'essence de térébenthine a donné lieu aussi à une absorption d'azote, plus lente à la vérité dans les mêmes conditions; il s'est également produit un corps résineux condensé, dont la décomposition pyrogénée dégage de l'ammoniaque.

Voici diverses expériences relatives à l'absorption de

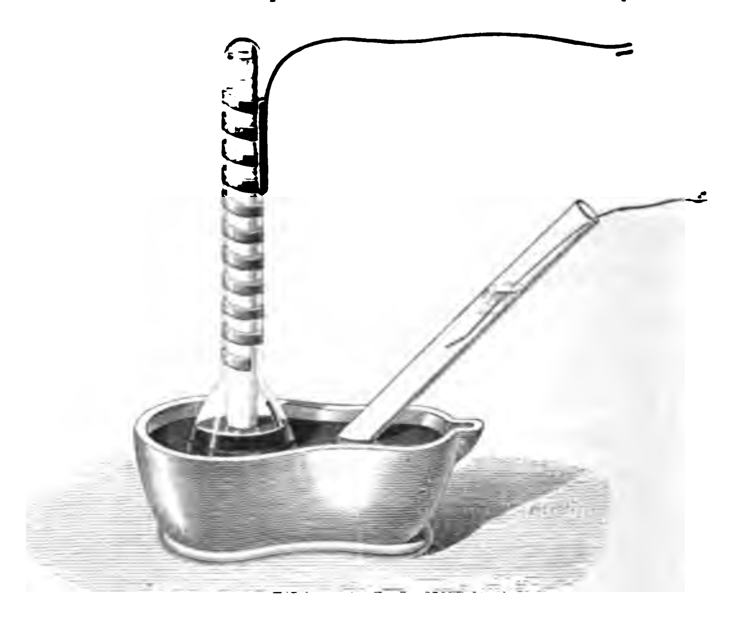


Fig. 5.

l'azote, propres à démontrer que cette absorption a réellement lieu par les principes constitutifs des tissus végétaux, et cela, soit avec l'azote pur, soit en présence de l'oxygène, c'est-à-dire en opérant avec l'air atmosphérique.

Le papier blanc à filtre (cellulose ou principe ligneux), légèrement humecté et mis en présence de l'azote pur, sous l'influence de l'effluve, en absorbe, dans l'espace de huit à dix heures, une dose très notable. Il suffit de chauffer ensuite ·tement le papier avec de la chaux sodée, pour en dégager

une grande quantité d'ammoniaque. Le papier primitif n'en fournissait pas d'une manière sensible, dans les mêmes conditions. L'ammoniaque ne se produit d'ailleurs que vers le rouge sombre, par la destruction d'un composé azoté particulier et fixe, précisément comme avec les carbures d'hydrogène.

La présence de l'oxygène n'empêche pas cette absorption d'azote. Je citerai à cet égard l'expérience que voici : les tubes de verre au travers desquels s'exerce l'influence électrique, ayant été enduits d'une couche mince d'une solution sirupeuse de dextrine (quelques décigrammes en tout), j'y ai introduit, sur le mercure, un certain volume d'air atmosphérique.

L'effluve ayant agi pendant huit heures environ, j'ai constaté une absorption de 2,9 centièmes d'azote et de 7 d'oxygène, sur 100 volumes d'air primitif. On voit que l'absorption de l'oxygène n'était pas totale dans ces conditions. Comme contrôle, j'ai repris la matière organique demeurée à la surface des tubes, et je l'ai chauffée avec de la chaux sodée ; elle a dégagé en grande abondance, et seulement vers le rouge sombre, de l'ammoniaque : ce qui complète la démonstration. Je n'ai pas trouvé d'ailleurs qu'il se formât ni ammoniaque libre, ni acide azotique ou azoteux, en proportion appréciable, dans ces conditions. Le phénomène principal est donc la production d'un composé azoté complexe, par l'union directe de l'azote libre avec l'hydrate de carbone mis en expérience : réaction tout à fait assimilable à celles qui doivent se produire au contact des matières végétales et de l'air électrisé.

Il résulte de ces faits que la fixation de l'azote dans la nature n'est corrélative, d'une manière nécessaire, ni de la formation de l'ozone, ni de la production préalable de l'ammoniaque ou des composés nitreux.

Au contraire, en opérant dans un espace clos et sans l'intervention de l'électricité, avec des terres stérilisées par l'action de la chaleur, M. Boussingault, dont on connaît toute l'habileté, n'a pas réussi à constater l'absorption de l'azote. Mais l'intervention de l'électricité atmosphérique, qui n'agissait pas dans ces essais *in vitro*, où le potentiel est le même dans toutes les portions des appareils, me semble de nature à modifier les conclusions et à rapprocher les résultats qui se passent à la surface du sol de ceux que j'ai observés sous l'influence de l'effluve.

L'*absorption de l'azote par les composés organiques* s'opère également sous l'influence des deux électricités, agissant séparément ; elle a lieu tout aussi nettement avec les tensions les plus faibles qu'avec les tensions les plus fortes, mais dans un temps d'autant plus long que la tension électrique est moindre. Cette absorption a été vérifiée, soit en laissant les armatures d'argent ou de platine (1) en contact avec le gaz ; soit en isolant celui-ci entre deux surfaces de verre. Elle est très marquée, même avec ces faibles tensions qui ne fournissent plus que des traces douteuses ou nulles d'ozone et d'acétylène (*voir* aussi le chapitre suivant).

En même temps que les composés azotés fixes dont j'ai déjà parlé, il ne se forme *ni trace d'ammoniaque*, *ni trace d'acide azotique ou azoteux*, *ni trace d'acide cyanhydrique*.

La formation de ce dernier corps, notamment par l'azote

(1) Les armatures métalliques avaient été chauffées au rouge, à l'air libre, avant chaque expérience, afin de détruire toute trace de matière organique à leur surface. Il faut avoir soin de ne pas les toucher avec les doigts.

Le papier Berzelius et la dextrine employés ne contenaient pas plus de un dix-millième d'azote, d'après un dosage spécial : proportion insensible quand on opère sur quelques centigrammes de papier. Cette vérification doit être faite chaque fois sur des bandelettes prises dans la même feuille de papier et d'une manière alternative, le papier renfermant parfois et accidentellement des matières azotées.

libre, exige la haute température de l'étincelle (*voir Annales de Chimie et de Physique*, 4e série, t. XVIII, p. 162), de même et d'une façon plus marquée encore que la formation des composés azoteux.

En opérant dans des conditions comparatives et avec de *très faibles tensions*, on a trouvé la fixation de l'azote surtout abondante avec le papier, moindre avec l'éther et bien moindre encore avec la benzine : diversité qui répond à la stabilité inégale de ces principes et à la nature différente des principes azotés qui en dérivent. Avec le papier notamment, il se produit à la fois des composés azotés insolubles, très peu colorés, qui restent fixés sur la fibre ligneuse, et des corps azotés solubles dans l'eau et presque incolores, qui se condensent sur la lame de platine : ces derniers renferment de telles doses d'azote qu'ils fournissent de l'ammoniaque libre, bleuissant le tournesol par la seule action de la chaleur, même sans aucune addition de chaux sodée.

Les expériences que je viens de décrire définissent mieux les conditions générales des réactions chimiques produites par l'effluve ; mais elles ne décident pas d'une manière nette les effets de la tension électrique, dégagée de toute complication. En effet, celle-ci change continuellement pendant l'intervalle des étincelles, et cela entre des limites qui varient de plusieurs milliers de volts. Quelle est l'influence de ces variations incessantes et des alternatives brusques qui les accompagnent ? Les réactions chimiques sont-elles déterminées par le fait même de ces alternatives et des chocs et vibrations moléculaires qui en résultent ? Ou bien peuvent-elles être produites par une simple différence de potentiel, par une simple orientation des molécules gazeuses, sans qu'il y ait ni courant voltaïque proprement dit, comme avec une pile fermée ; ni élévation de température, comme avec

l'étincelle ; ni variations brusques et incessantes de tension, comme avec l'effluve développé par les machines de Holtz ou de Ruhmkorff? Le chapitre suivant répond à ces questions.

Il n'est guère contestable que des phénomènes analogues (accompagnés par une absorption d'oxygène) ne doivent se manifester en temps d'orage et même toutes les fois que l'air est électrisé. Cette absorption ne peut être révoquée en doute, au moment des décharges foudroyantes qui répondent à des différences de tension électrique, analogues ou supérieures à celles de l'appareil Ruhmkorff, et elle existe aussi pour les différences plus faibles qui se produisent incessamment (*voir* plus loin).

Elle doit être surtout marquée dans les montagnes et sur les pics isolés, où la tension de l'électricité est souvent très considérable. La richesse de la végétation des hautes prairies des montagnes, qui fournissent indéfiniment des récoltes azotées sans le concours d'aucun engrais, concorde avec ces opinions.

Il n'est pas jusqu'au règne animal qui ne doive éprouver parfois des influences analogues. Peut-être même cette absorption d'azote et d'oxygène, jointe aux condensations moléculaires et aux autres changements chimiques développés au sein des tissus vivants, sous l'influence de l'effluve électrique, donne-t-elle lieu à des modifications physiologiques correspondantes, qui joueraient un certain rôle dans ces malaises singuliers, manifestés au sein de l'organisme humain pendant les orages.

Sans nous arrêter davantage sur ce point particulier, insistons cependant d'une manière générale sur la nouvelle cause de fixation de l'azote atmosphérique que je signale ici dans la nature. Elle engendre des produits azotés con-

densés, de l'ordre des principes albuminoïdes et des principes humiques, si répandus à la surface du globe. Quelque limités que les effets en soient à chaque instant et sur chaque point de la surface terrestre, ils peuvent cependant devenir considérables, en raison de l'étendue et de la continuité d'une réaction universellement et perpétuellement agissante.

CHAPITRE II

FIXATION DE L'AZOTE SUR LES MATIÈRES ORGANIQUES ET FORMATION DE L'OZONE SOUS L'INFLUENCE DES FAIBLES TENSIONS ÉLECTRIQUES

En publiant mes dernières expériences sur les réactions chimiques produites par l'électricité de tension, j'ai annoncé que je poursuivais de nouveaux essais, exécutés avec une pile, *sans fermer le circuit*, et dans des conditions telles que tout se réduisît à l'établissement d'une différence constante de potentiel entre les deux armatures : cette différence était mesurée par la force électromotrice de cinq éléments Leclanché (sept Daniell environ), dans la plupart des essais que je vais décrire. Chacun des essais a duré huit à neuf mois consécutifs.

J'ai dû renoncer à l'emploi des armatures métalliques, à cause des réactions spéciales qu'elles déterminent, et je me suis astreint à placer les gaz dans l'espace annulaire qui sépare deux tubes de verre concentriques, soudés l'un à l'autre par leur partie supérieure (fig. 6).

A est un tube de verre mince, soudé en E avec un tube concentrique B, mince également et aussi rapproché que voisin du tube A.

A est fermé à la lampe à la partie inférieure ; *t*, *t* sont des tubes latéraux soudés avec B.

Le tube intérieur est ouvert et rempli d'acide sulfurique étendu ; le tube extérieur est fermé à la lampe et plongé entièrement dans une éprouvette contenant le même acide.

Les gaz et autres corps ont été introduits à l'avance dans l'espace annulaire, à l'aide de tubulures que l'on a refermées ensuite à la lampe (1).

Le pôle positif d'une pile est mis en communication avec le liquide acide du tube intérieur, qui joue le rôle d'armature ;

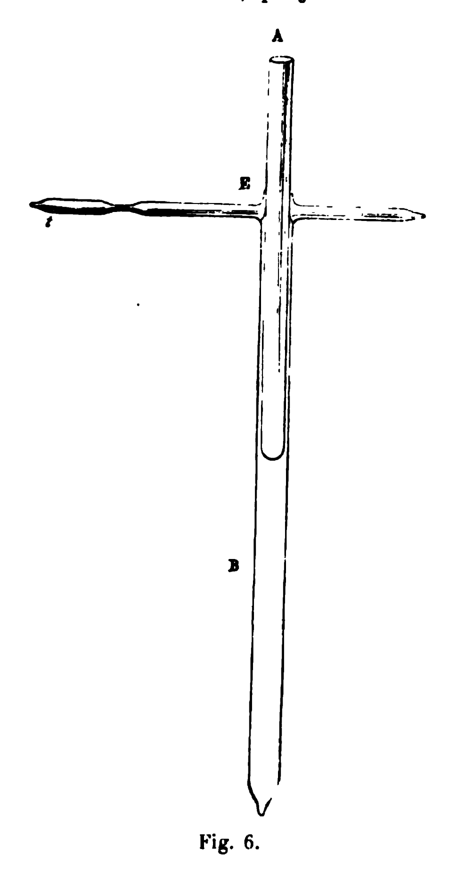


Fig. 6.

et le pôle négatif avec le liquide acide de l'éprouvette qui joue le rôle d'une seconde armature, séparée de la première par un diélectrique, formé de deux épaisseurs de verre et de

(1) Sur ces manipulations, voir *Annales de Chimie et de Physique*, 5e série, t. XII, page 465.

la couche gazeuse interposée. Celle-ci est ainsi enfermée dans un espace complètement clos par des soudures de verre et sans aucun contact métallique.

Voici les résultats observés dans ces conditions :

I. — Formation de l'ozone

J'ai constaté la formation de l'ozone par quatre réactions distinctes, savoir :

1° La transformation de l'acide arsénieux en acide arsénique, 5 centimètres cubes d'une dissolution titrée du premier corps dissous dans une solution étendue d'acide chlorhydrique, étant placés à l'avance dans l'espace annulaire, ont absorbé pendant la durée de l'expérience $0^{mgr},13$ d'oxygène, sur 50 milligrammes environ contenus dans les tubes : ce qui répond à près de un centième de l'oxygène présent changé en ozone. Avec les témoins disposés simultanément de la même manière, mais sans leur faire subir l'action de l'électricité, l'absorption a été trouvée absolument nulle ; le procédé de dosage employé permettant de répondre de $0^{mgr},02$ d'oxygène. Ces nombres montrent quel est l'ordre de grandeur de la réaction.

2° La transformation de l'iodure de potassium en iodate de potasse. 1 décigramme d'iodure, dissous dans un demi-centimètre d'eau, et placé de même dans l'espace annulaire pendant la durée de l'expérience, a fourni une dose d'iodate de potasse capable de précipiter le chlorure de baryum ; le précipité étant cristallin, insoluble dans l'acide acétique, soluble avec coloration de la liqueur dans l'acide chlorhydrique, etc. Le témoin qui n'avait pas subi l'action électrique n'a pas fourni d'iodate.

3° La formation du bioxyde d'argent en petite quantité, par

la réaction de l'oxygène humide sur une lame d'argent placée dans le même espace concentrique. Cette réaction n'a pas lieu en dehors de l'influence électrique, comme je m'en suis assuré à l'aide de tubes témoins.

Son étude présente une cause d'erreur qu'il est essentiel de signaler : c'est la formation de taches noires de sulfure d'argent, produites aux dépens d'un peu de sulfure alcalin contenu dans le verre (surtout vis-à-vis des deux tubes latéraux de la figure de la page 411). On l'évite, autant que possible, en lavant à l'avance les tubes à l'aide d'un mélange d'acides sulfurique et nitrique, puis avec de l'eau distillée, jusqu'à absence de réaction acide. Malgré toutes les précautions, on observe parfois les formations simultanées du sulfure d'argent sur un point et du bioxyde d'argent sur un autre. Mais on les distingue aisément, à l'aide d'une dissolution concentrée d'hyposulfite de soude, qui dissout à froid le bioxyde d'argent, sans agir sur le sulfure ; ce dernier, au contraire, se dissout dans l'acide chlorhydrique saturé, avec dégagement d'hydrogène sulfuré.

La formation du bioxyde d'argent dans ces conditions est d'autant plus concluante qu'elle ne peut commencer à se produire, si ce n'est lorsque les traces des sulfures alcalins contenus dans le verre (ou formées pendant qu'on l'a travaillé à la lampe, traces capables d'émettre des vapeurs hydrosulfurées sous l'influence de l'eau) ont été complètement détruites par l'oxygène. Le sulfure d'argent doit absorber aussi pour son propre compte une portion de l'ozone ; ce qui restreint encore la formation du bioxyde d'argent. Cependant il restait assez d'ozone dans plusieurs de mes essais pour que la production du bioxyde d'argent n'ait pas paru douteuse.

Ces détails minutieux m'ont semblé nécessaires pour bien préciser le caractère des phénomènes. On voit qu'il s'agit,

dans tous les cas, de très petites quantités d'ozone. On ne saurait s'attendre à un autre résultat ; car, si de faibles tensions électriques déterminaient la formation d'une quantité d'ozone considérable, l'oxygène contenu dans l'atmosphère, où se développent incessamment des tensions électriques comparables à celles de mes expériences, cet oxygène, dis-je, ne tarderait pas à détruire toutes les substances organiques et autres matières oxydables, répandues à la surface de la terre (1).

Observons, en outre, que les diverses réactions oxydantes que je viens de signaler nous fournissent, non pas la mesure de la quantité absolue d'ozone formée dans un temps donné, mais seulement la mesure de la différence qui existe entre l'excès d'ozone formé sur l'ozone détruit spontanément dans un temps donné, et la quantité de ce même ozone absorbé pendant le même temps par l'acide arsénieux, l'argent, ou l'iodure de potassium ; aucune de ces réactions n'étant instantanée. J'ai vérifié d'ailleurs que l'ozone, une fois formé, ne possède pas la propriété d'oxyder l'azote, seul ou en présence des alcalis.

II. — Fixation de l'azote sur les composés organiques

J'ai également observé la fixation de l'azote sur divers composés organiques, sous l'influence de cinq éléments Leclanché, formant une pile *dont le circuit n'était pas fermé.* Quelques-unes de mes expériences ont été faites dans des conditions quantitatives, de façon à mesurer les poids d'azote absorbés dans un temps donné.

(1) A chaque mètre carré de la surface terrestre répond un poids d'oxygène capable de brûler environ 900 kilogrammes de carbone.

A cette fin, j'ai posé sur la moitié de la surface *extérieure* d'un grand cylindre de verre mince, A, terminé par une calotte sphérique, une feuille de papier Berzelius, pesée à l'avance et mouillée avec de l'eau pure (fig. 7). L'autre moitié de la même surface extérieure a été enduite avec une solution sirupeuse, titrée et pesée, de dextrine, dans des conditions qui permettaient de connaître exactement le poids de la dextrine sèche employée (1). La surface *intérieure* du cylindre avait été recouverte à l'avance avec une feuille d'étain (armature interne).

Ce cylindre a été posé sur une plaque de verre enduite de gomme laque.

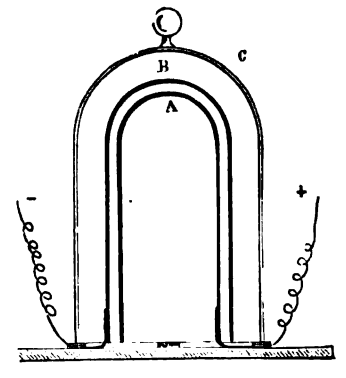


Fig. 7.

Puis on l'a recouvert avec un cylindre de verre mince, B, concentrique, aussi rapproché que possible, dont la surface *intérieure* était libre et la surface *extérieure* revêtue avec une feuille d'étain (armature externe).

(1) La solution de dextrine était faite avec des poids connus d'eau et de matière sèche; elle était pesée dans son flacon, muni d'un pinceau. On se servait de celui-ci pour étendre la solution à la surface du verre, en prenant garde de ne rien perdre. Le poids de la solution étalée sur le verre, et par suite celui de la dextrine, se déduisent, par différence, d'une nouvelle pesée du flacon muni de son pinceau.

Le système des deux cylindres a été recouvert d'une cloche, C, pour éviter la poussière.

L'armature interne a été mise en communication avec le pôle positif d'une pile formée de cinq éléments Leclanché, disposés en tension ; l'armature externe, avec le pôle négatif : de telle façon qu'il existait une différence de potentiel constante entre les deux armatures d'étain, séparées par les deux épaisseurs de verre, par la lame d'air interposée, enfin par le papier ou la dextrine appliqués sur l'un des cylindres.

J'ai dosé l'azote dans le papier et dans la dextrine, en opérant sur 2 grammes de matière sèche, avant l'expérience ; ce qui a fourni, sur 1000 parties :

Papier	0,10
Dextrine	0,12

Au bout d'un mois (novembre), ayant opéré d'abord avec un seul élément Leclanché, j'ai trouvé :

Papier	0,10
Dextrine	0,17

Il s'était développé des moisissures.

La variation étant nulle pour le papier, très faible pour la dextrine, j'ai poursuivi avec cinq éléments Leclanché, pendant sept mois, la température extérieure s'étant élevée peu à peu jusqu'à atteindre par moments 30 degrés.

On a encore observé des moisissures.

Au bout de ce temps, j'ai trouvé en azote, sur 1000 parties :

Papier	0,45
Dextrine	1,92

L'intervalle des deux cylindres était d'environ 3 à 4 millimètres.

Un autre essai, poursuivi simultanément avec un intervalle

à peu près triple entre deux autres cylindres, a fourni en azote, sur 1000 parties :

Papier	0,30
Dextrine	1,14

Toutes ces analyses concourent à établir qu'il y a fixation d'azote sur le papier et sur la dextrine, c'est-à-dire sur les principes immédiats non azotés des végétaux, sous l'influence de tensions électriques excessivement faibles. Les effets sont provoqués par la différence de potentiel existant entre les deux pôles d'une pile formée par cinq éléments Leclanché : différence tout à fait comparable à celle de l'électricité atmosphérique agissant à de petites distances du sol.

L'influence du genre des moisissures observées dans le cours des expériences ne saurait être invoquée ; car M. Boussingault a démontré, par des analyses très précises (*Ann. de chimie et de physique*, 3e série, t. LXI, p. 363), que les végétaux formés dans ces conditions ne possèdent pas la propriété de fixer l'azote atmosphérique.

La lumière ne jouait aucun rôle dans les essais précédents, où la fixation de l'azote s'effectuait au sein d'une obscurité absolue, en raison de l'existence des armatures d'étain. D'autres essais, exécutés dans des espaces transparents, ont montré d'ailleurs que la lumière n'entrave point la fixation électrique de l'azote.

J'ai fait encore divers essais pour provoquer des réactions chimiques, en vertu de la différence de potentiel existant entre les deux pôles d'une pile formée par cinq éléments Leclanché, agissant pendant neuf mois sur un appareil tout semblable à celui que j'ai employé pour étudier la fixation de l'azote. Mais la plupart des autres résultats ont été négatifs.

Cependant l'azote et l'hydrogène secs ont donné quelque

indice de la formation de l'ammoniaque, sous l'influence prolongée des cinq éléments Leclanché.

Insistons maintenant sur le mécanisme physique en vertu duquel de tels effets, c'est-à-dire la fixation lente de l'azote et la formation lente de l'ozone, se trouvent accomplis.

Dans mes expériences, on peut concevoir les effets observés, en admettant que la différence de potentiel qui existe entre les deux armatures détermine l'orientation des molécules du gaz interposé, phénomène assimilable à l'électrisation du gaz.

En réalité, les théories actuellement reçues sur les mouvements propres des particules gazeuses, mouvements sans cesse troublés par leurs chocs et réactions mutuelles, ne permettent guère d'admettre une orientation *permanente* et *uniforme* de ces particules. Mais il suffit que l'influence électrique s'exerce d'une manière constante et suivant un sens invariable sur une masse gazeuse, pour que les effets dynamiques résultants puissent être assimilés aux effets statiques d'une orientation permanente.

A ce point de vue, ce qui suit deviendra plus facile à comprendre. En effet, dans certaines de mes expériences, telles que la formation de l'ozone, formation endothermique, d'après les mesures que j'ai publiées (*Thermochimie : Données et lois numériques*, t. II, p. 44), il y a consommation d'énergie, soit 30 c^{al},7 pour 48 grammes d'oxygène changé en ozone. Cette énergie est fournie par la pile, c'est-à-dire qu'il doit se produire un flux électrique très lent, destiné à maintenir ou à reproduire incessamment l'orientation des molécules gazeuses. Cependant on n'observe pas ici d'effets qui soient strictement comparables au courant voltaïque et aux électrolyses qui l'accompagnent.

Revenons maintenant sur les applications que ces études

peuvent offrir dans l'explication des phénomènes observés en agriculture.

Les réactions que je viens de décrire sont, je le répète, déterminées par des tensions électriques très faibles et d'un ordre de grandeur tout à fait comparable à celui de l'électricité atmosphérique; ainsi qu'il résulte des mesures publiées par M. Thomson, M. Mascart et par divers autres expérimentateurs (1). J'établirai tout à l'heure qu'il y a réellement fixation d'azote sur les matières organiques, sous la seule influence de l'électricité atmosphérique.

Ces actions ne sauraient être d'ailleurs que très limitées; autrement les matières humiques du sol devraient s'enrichir rapidement en azote; tandis que la régénération des matières azotées naturelles, épuisées par la culture, est, au contraire, comme on le sait, excessivement lente.

Cependant elle est incontestable; car on ne saurait expliquer autrement la fertilité indéfinie des sols qui ne reçoivent aucun engrais, tels que les prairies des hautes montagnes, étudiées par M. Truchot en Auvergne (*Annales agronomiques*, t. I, p. 549 et 550, 1875). Je rappellerai, en outre, que MM. Lawes et Gilbert, dans leurs célèbres expériences agricoles de Rothamsted, arrivent à cette conclusion : que l'azote de certaines récoltes de légumineuses surpasse la somme de l'azote contenu dans la semence, dans le sol, dans les engrais, même en y ajoutant l'azote fourni par l'atmosphère sous les formes connues d'azotates et de sels ammoniacaux : résultat d'autant plus remarquable qu'une portion de l'azote combiné s'élimine d'autre part à l'état libre, pendant les transformations naturelles des produits végétaux. Les auteurs en ont conclu qu'il devait exister dans la végétation quelque source

(1) Voir entre autres, sur ce point, *Annuaire de la Société météorologique de France*, t. XXV, p. 153; 1877.

d'azote, capable d'expliquer l'origine de la masse considérable d'azote combiné qui se rencontre actuellement à la surface du globe : mais cette source est demeurée jusqu'à présent inconnue.

C'est précisément l'une de ces sources inconnues d'azote qui me paraît indiquée dans mes expériences sur les réactions chimiques provoquées par l'électricité à faible tension et spécialement par l'électricité atmosphérique.

Comparons encore les données quantitatives de mes expériences avec la richesse en azote des tissus et organes végétaux, qui se renouvellent chaque année. Les feuilles des arbres renferment environ 8 millièmes d'azote; la paille de froment, 3 millièmes à peu près. Or l'azote fixé sur la dextrine dans mes essais, au bout de huit mois, s'élevait à 2 millièmes environ, c'est-à-dire qu'il s'était formé une matière azotée d'une richesse à peu près comparable à celle des tissus herbacés que la végétation produit dans le même espace de temps, avec le concours des influences exercées par des tensions électriques naturelles, en partie comparables, je le répète, à celles de mes expériences.

On voit que les questions soulevées par ces expériences au point de vue physique, chimique, physiologique, sont d'une étendue presque illimitée.

CHAPITRE III

ABSORPTION DE L'AZOTE LIBRE PAR LES PRINCIPES IMMÉDIATS DES VÉGÉTAUX SOUS L'INFLUENCE DE L'ÉLECTRICITÉ ATMOSPHÉRIQUE SILENCIEUSE

D'après les expériences nombreuses que j'ai réalisées, l'azote libre est absorbé directement, à la température ordinaire, par les matières organiques, sous l'influence de l'effluve électrique. Cette absorption (1) a lieu : soit avec l'azote pur et sec et les carbures d'hydrogène, circonstance dans laquelle l'oxygène est absolument exclu; soit avec le principe ligneux et la dextrine humides; elle s'opère également avec l'azote pur et avec l'air, c'est-à-dire avec l'azote qui y est contenu. Dans ces expériences, l'effluve électrique était développé, tantôt au moyen de tensions énormes et avec une grosse bobine de Ruhmkorff, c'est-à-dire dans des conditions comparables aux tensions foudroyantes qui se produisent entre les nuages et le sol, pendant la durée des orages tantôt avec les tensions très faibles résultant de l'action de 5 éléments Leclanché, en circuit non fermé. L'application

(1) J'ai vérifié que l'azote pur ne contracte pas de modifications permanentes appréciables sous l'influence de l'effluve. Mis immédiatement en contact avec l'hydrogène ou avec l'oxygène, à quelques centimètres de distance des tubes à effluve, il ne donne aucun indice de combinaison. Il faut donc que l'azote et la matière organique, ou l'hydrogène, éprouvent *simultanément* l'influence électrique, pour que la combinaison ait lieu.

De même pour l'hydrogène, en présence des matières organiques ou de l'azote.

Il ne paraît donc pas exister, soit pour l'azote, soit pour l'hydrogène, de modification électrique permanente, analogue à celle de l'oxygène qui constitue l'ozone.

des résultats obtenus à la végétation était donc légitime. Cependant on pouvait se demander si l'absorption de l'azote a lieu précisément sous l'influence de tensions électriques telles que celles qui se produisent incessamment dans l'atmosphère. C'est pour examiner cette question que j'ai institué les expériences présentes, qui démontrent qu'il en est réellement ainsi.

Mon appareil (fig. 8) se compose de deux tubes de verre mince, tous deux complètement fermés à la lampe et dont l'un est enfermé dans l'autre. Dans le tube intérieur se trouve

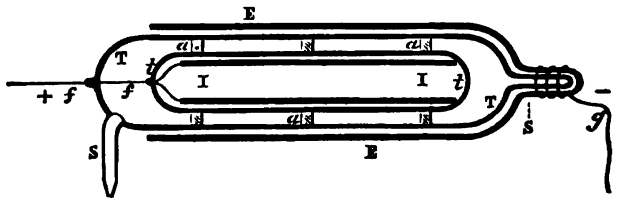


Fig. 8. — Appareil pour la fixation de l'azote sous l'influence de l'électricité atmosphérique.

II, armature intérieure d'argent. — *tt*, tube de verre mince qui la contient. — *aaaa*, petits appendices de verre pour écarter les surfaces. — TT, tube de verre enveloppant. — SS, tubes soudés à ses extrémités pour l'introduction des gaz. — *ff*, fil de platine établissant la communication de l'armature interne avec l'appareil destiné à la mettre en équilibre de tension électrique avec l'atmosphère. — EE, armature extérieure d'étain, communiquant par le fil *g* avec le sol.

une feuille d'argent ou de platine, jouant le rôle d'armature interne, roulée en cylindre et appliquée contre la paroi. Elle est fixée à une extrémité avec un fil de platine soudé dans le tube intérieur et soudé également dans le tube extérieur. On met ce fil de platine en communication avec un conducteur électrisé par l'atmosphère, de façon à établir l'armature interne en équilibre électrique avec une certaine couche atmosphérique. D'autre part, une feuille d'étain mince, enroulée autour du tube extérieur, à l'air libre, joue le rôle d'armature externe, mise en communication avec un sol con-

ducteur. Un certain intervalle de verre sépare la feuille d'étain du fil de platine, et cet intervalle est soigneusement enduit d'une triple couche de gomme laque, afin de prévenir toute déperdition hygrométrique et toute communication entre les deux armatures.

C'est entre les deux tubes de verre, dans l'espace annulaire qui les sépare, que l'on introduit l'azote pur, ou bien l'air ordinaire, après y avoir disposé, soit de longues bandelettes de papier blanc à filtre humide, soit deux ou trois gouttes d'une solution sirupeuse de dextrine : ces introductions de gaz et de matières diverses se font à l'aide de tubes à gaz soudés aux extrémités, et que l'on ferme soigneusement à la lampe après l'introduction. Celle-ci précède d'ailleurs la pose de l'armature d'étain et celle du vernis de gomme laque.

J'ajouterai encore que, dans certains tubes, l'armature interne a été fixée dans l'espace annulaire lui-même, c'est-à-dire en contact direct avec le papier ou la dextrine, au lieu d'en être séparée par l'épaisseur de verre du tube intérieur. Cette disposition n'a rien changé aux résultats.

Entre les deux armatures, j'établis une différence de tension électrique, qui n'est autre que la différence de potentiel entre le sol et une couche d'air située à 2 mètres au-dessus. J'ai opéré à l'Observatoire météorologique de Montsouris, grâce au concours obligeant du directeur, M. Marié-Davy, que je prie de vouloir agréer l'expression de ma reconnaissance. Pour mettre l'armature intérieure de mes instruments en équilibre électrique avec un point déterminé de l'atmosphère, on employait l'appareil à écoulement d'eau de Thomson, appareil mis en œuvre par M. Marié-Davy dans ses mesures relatives à l'électricité atmosphérique (1), publiées à

(1) *Annuaire météorologique de l'Observatoire de Montsouris pour* 1876, p. 248. Gauthier-Villars.

la fin de chaque mois dans les *Comptes rendus de l'Académie*. Sans discuter les avantages ou les inconvénients de cet appareil, il suffira de dire que les tensions qui ont agi dans mes tubes sont précisément celles qui sont indiquées dans les relevés mensuels des *Comptes rendus*, pour les deux mois d'août et de septembre, ou plutôt elles sont moindres, mes tubes donnant lieu à quelque déperdition, malgré toutes les précautions. En voici le résumé :

Tensions électriques hebdomadaires déduites de l'électromètre Thompson-Branly, à l'Observatoire de Montsouris; par M. Marié-Davy.

Dates.	Moyennes.	Maxima.	Minima.
27 juill.-2 août.	+ 79	+ 673 (27 juill., 9 h. s.)	— 98 (28 juill., 3 h. s.)
3-9 août	+408	+1720 (6 août., 9 h.m.)	— 263 (8 août., 3 h. s.)
10-16 »	+348	+1475 (11 » 9 h. s.)	—1000 (12 » 9 h.m.)
17-23 »	— 78	+1093 (17 » 6 h. s.)	—5275 (18 » 6 h.m.)
24-30 »	+ 97	+ 480 (25 » 3 h. s.)	— 13 (30 » minuit)
31 août-6 sept.	+ 77	+ 330 (31 » 6 h. s.)	— 103 (1er sept., 3 h. s.)
7-13 sept.....	+ 19	+ 178 (13 sept., 3 h. s.)	—1613 (6 » 3 h. s.)
14-20 »	+ 9	+ 148 (19 » 3 h. s.)	— 53 (20 » 9 h.m.)
21-27 »	+ 34	+1150 (22 » 3 h. s.)	— 25 (26 » 3 h. s.)
28 sept.-4 oct.	+ 18	+ 945 (2 oct., 3 h. s.)	— 161 (3 oct., 9 h.m.)

La force électromotrice d'un élément Daniell vaut 28,7 de ces unités.

J'ai disposé douze tubes du modèle décrit plus haut ; les douze fils de platine qui communiquaient avec les armatures internes étaient assemblés et reliés par un fil métallique ; tandis que les douze autres fils, communiquant avec les armatures externes, étaient aussi reliés ensemble et mis en communication avec le sol.

Cinq de ces tubes renfermaient du papier humide, dont le poids s'élevait à quelques centigrammes ;

Cinq, de la dextrine, sous le même poids, avec un peu d'eau ;

Deux tubes de chaque espèce (quatre en tout) étaient remplis d'azote pur ;

Deux tubes de chaque espèce (quatre en tout) remplis d'air ordinaire ;

Un tube de chaque espèce (deux en tout) avait été laissé ouvert, de façon que l'air extérieur pût y pénétrer librement à travers une couche d'amiante.

La capacité de l'espace annulaire renfermant l'azote ou l'air ne dépassait guère 30 à 35 centimètres cubes.

L'intervalle des deux armatures était environ de 5 millimètres (y compris l'épaisseur du verre).

Sur les quatre tubes remplis d'azote, deux portaient leur armature interne à l'intérieur du petit tube, de façon que la matière organique fût en contact uniquement avec l'azote et le verre ; tandis que l'armature interne des deux autres était située dans l'espace annulaire, en contact avec la matière organique. De même pour les tubes remplis d'air (1).

Voici les résultats que j'ai obtenus, dans des expériences qui ont duré du 29 juillet au 5 octobre 1876, c'est-à-dire un peu plus de deux mois, la tension électrique moyenne ayant été celle de 3,5 éléments Daniell environ, et ayant oscillé en valeur absolue depuis + 60 jusqu'à — 180 Daniell environ, dans mes appareils.

Dans tous les tubes sans exception, qu'ils continssent de l'azote pur ou de l'air ordinaire, qu'ils fussent clos hermétiquement ou en libre communication avec l'atmosphère, l'azote s'est fixé sur la matière organique (papier ou dextrine),

(1) Deux tubes avaient été remplis d'oxygène pur, laissés en contact avec des armatures internes, l'une d'argent, l'autre de platine, avec addition de quelques gouttes d'eau, afin de rechercher s'il y avait formation d'ozone; cette formation devant être accusée dans un cas par la production caractéristique du peroxyde d'argent; dans l'autre cas, par les propriétés oxydantes de l'eau. Mais les résultats relatifs à la formation de l'ozone, dans ces conditions et avec ces réactifs, ont été tout à fait négatifs. Il semble donc que les faibles tensions qui déterminent la fixation de l'azote ne suffiraient pas pour former l'ozone, dans les conditions de durée des essais précédents; mais il y a là une question de temps.

en formant un composé amidé, que la chaux sodée décompose vers 300 à 400 degrés, avec régénération d'ammoniaque. Est-il besoin de dire que les mêmes matières, laissées librement en contact avec l'atmosphère d'une salle de mon laboratoire, n'ont pas donné le moindre signe de la fixation de l'azote? La dose d'azote ainsi fixée sous l'influence de l'électricité atmosphérique est d'ailleurs très faible dans chaque tube ; ce qui s'explique à la fois par la petitesse du poids de la matière organique (quelques centigrammes), par la lenteur des réactions, enfin par le peu d'étendue des surfaces influencées (1).

Cependant, comme le nombre des tubes susceptibles d'être disposés dans le même circuit pourrait assurément être très multiplié, sans restreindre les effets électriques, ni les effets chimiques qui en dérivent, on voit que la quantité d'azote susceptible d'être fixée sur une surface recouverte de matières organiques, au bout d'un temps convenable, pourrait être rendue considérable, sans faire intervenir une source de fixation autre que la différence naturelle de potentiel entre le sol et les couches d'air situées à 2 mètres plus haut. On se trouve ainsi dans des conditions analogues à celles de la végétation, agrandies dans le rapport qui existe entre la distance du tube d'écoulement de l'appareil Thomson au sol et la distance des deux armatures de mes tubes.

(1) Je n'ai trouvé aucune trace d'acide nitrique, soit dans l'eau qui avait été en contact avec les matières organiques, soit dans des tubes spéciaux renfermant uniquement de l'air et de l'eau et soumis simultanément à l'influence de l'électricité atmosphérique.

L'effluve, dans ces conditions de faible tension, ne paraît donc pas déterminer l'union de l'azote avec l'oxygène, pour former l'acide nitrique; pas plus qu'elle ne détermine l'union de l'azote avec l'acétylène et les carbures d'hydrogène, pour former l'acide cyanhydrique, si facile à produire cependant sous l'influence de l'étincelle électrique. Avec l'effluve produit sous de très grandes tensions et l'air humide, on obtient des traces de composés nitreux.

Ces expériences mettent en lumière l'influence d'une cause naturelle, à peine soupçonnée jusqu'ici et cependant des plus considérables, sur la végétation. Lorsqu'on s'est préoccupé de l'électricité atmosphérique jusqu'à ce jour en agriculture, ce n'a guère été que pour s'attacher à ses manifestations lumineuses et violentes, telles que la foudre et les éclairs. Dans toute hypothèse, on a envisagé uniquement la formation des acides azotique, azoteux et de l'azotate d'ammoniaque ; il n'y a pas eu jusqu'à présent d'autre doctrine relative à l'influence de l'électricité atmosphérique pour fixer l'azote sur les végétaux. Or il s'agit, dans mes expériences, d'une action toute nouvelle, absolument inconnue, qui fonctionne incessamment sous le ciel le plus serein, et qui détermine une fixation *directe* de l'azote sur les principes des tissus végétaux. Dans l'étude des causes naturelles capables d'agir sur la fertilité du sol et sur la végétation, causes que l'on cherche à définir par les observations météorologiques, il conviendra désormais, non seulement de tenir compte des différences dans les actions lumineuses ou calorifiques, mais aussi de faire intervenir l'état électrique de l'atmosphère.

Les expériences que j'ai publiées dans ces derniers temps sur la fixation de l'azote libre par les matières organiques sous l'influence de l'effluve électrique, aussi bien que sous l'influence de l'électricité atmosphérique, me semblent reproduire des conditions analogues à celles qui se réalisent dans l'atmosphère, entre les couches d'air les plus voisines du sol et la surface même du sol, comme entre les diverses couches d'air et les poussières organiques qui y sont suspendues. L'influence chimique des effluves électriques dans l'atmosphère se résume dans trois ordres de phénomènes :

fixation de l'azote sur les matières organiques; fixation de l'oxygène sur ces mêmes matières; enfin formation possible de l'ozone. Je ne parle pas ici de la formation de l'acide azotique et de celle de l'azotate d'ammoniaque, ces formations bien connues ayant lieu surtout sur l'étroit trajet même de la foudre, ou des éclairs. Au contraire la fixation de l'azote est inévitable sous l'influence des grandes et subites variations de tension électrique qui se produisent dans une étendue souvent considérable de l'air et du sol, au-dessous des nuages entre lesquels se développent la foudre et les éclairs. L'analogie de ces variations intermittentes n'est pas contestable avec celles de l'effluve donné dans nos appareils, sous l'influence de changements de tension évidemment inférieurs à ceux des décharges atmosphériques.

Les mêmes effets chimiques se produisent également, comme je l'ai établi, par suite des échanges électriques opérés sous des tensions plus faibles et qui ont lieu, ceux-là, d'une manière incessante. En effet, la tension électrique moyenne en chaque point de l'atmosphère, telle qu'elle est exprimée par le potentiel, varie sans cesse, et par suite il se produit, dans les couches voisines de ce point, des échanges électriques incessants, tout semblables à ceux que subissent les gaz dans les tubes à effluves.

Ces échanges ont également lieu, quoique d'une façon un peu différente, entre le sol et les couches d'air les plus voisines. Dès lors, et cette prévision est vérifiée par mes expériences, les mêmes effets chimiques devront se reproduire : c'est-à-dire la fixation de l'azote sur les matières organiques en suspension dans l'air, ou en contact avec les couches aériennes, dont la tension électrique varie incessamment. La petitesse des effets est alors compensée par leur durée et par l'étendue des surfaces influencées. Je poursuis mes expé-

riences à cet égard, avec d'autant plus de soin que cette fixation d'azote paraît jouer un rôle capital dans la fertilisation du sol, dans la théorie des jachères et dans celle du développement des plantes et des produits de l'agriculture. Comme elle est corrélative des variations de la tension électrique, il est nécessaire d'étudier celle-ci d'une façon plus méthodique qu'on ne l'a fait jusqu'à ce jour; l'importance de cette étude ayant été plutôt pressentie d'une manière obscure que systématiquement établie.

Je sais que l'on publie dès à présent, dans les tableaux des observatoires météorologiques, certaines indications numériques sur l'état électrique de l'atmosphère; mais ces indications relatives à un point isolé, quelque méritoires qu'elles soient, ne sont pas suffisantes pour définir l'état de l'atmosphère lui-même sur une certaine étendue. Ce qu'il faudrait faire, d'après la théorie moderne formulée par M. Thomson, et que M. Mascart a si nettement exposée dans son *Traité d'électricité statique* (à la fin du second volume), ce serait mesurer le potentiel ou tension électrique relative, par un ensemble d'observations simultanées, effectuées dans une série de points convenablement choisis, sur une surface terrestre libre d'une certaine étendue, et en opérant en outre à diverses hauteurs, sur chacune des verticales qui passent sur ces points. On pourrait ainsi construire les surfaces de niveau électrique dans une certaine étendue de la superficie terrestre. En répétant ces observations pendant quelques années, à des intervalles de temps suffisamment rapprochés, sur une surface couverte de végétation et dont on analyserait à mesure, si faire se pouvait, la richesse en azote dans le sol et dans ses produits, avant, pendant et après l'expérience; enfin en y joignant des expériences simultanées, relatives à la fixation de l'azote sur des produits chimiques définis, dans

des conditions analogues à celles de mes essais; par ces observations, dis-je, on acquerrait certainement des données essentielles, relativement aux conditions de la fertilisation spontanée des terrains, telle qu'elle résulte de la fixation de l'azote atmosphérique.

Jusqu'ici je n'ai guère eu l'habitude de proposer des plans d'expériences sans les exécuter moi-même; mais ceux-ci exigent le concours réglementé d'un grand nombre de personnes, et que l'on peut seulement réaliser dans un observatoire : c'est ce qui fera excuser, je l'espère, la suggestion que je viens soumettre aux savants distingués qui s'occupent de météorologie et qui s'efforcent de rechercher les relations entre leur science et l'agriculture.

CHAPITRE IV

FIXATION DE L'AZOTE PAR LA TERRE VÉGÉTALE ET PAR LES PLANTES INFLUENCE DE L'ÉLECTRICITÉ SUR CE PHÉNOMÈNE

J'ai poursuivi, en 1889, dès que la saison favorable à la végétation l'a permis, mes expériences sur la fixation de l'azote par la terre, en m'efforçant d'en définir de plus en plus exactement les circonstances. J'ai étudié surtout l'influence de l'électricité sur cette fixation, tant en présence qu'en l'absence de végétaux supérieurs.

Rappelons d'abord que, sous l'influence des fortes tensions électriques, et indépendamment de l'étincelle, la plupart des composés organiques absorbent l'azote libre, dès la température ordinaire (1). Cette fixation a lieu notamment avec la cellulose et les hydrates de carbone, même sous l'influence d'un potentiel fixe et de faibles tensions. Mais, tandis qu'elle est rapide et énergique sous l'influence des grands potentiels, elle exige plusieurs mois pour accumuler de faibles doses d'azote sur le papier et sur la dextrine ; du moins lorsqu'on opère avec des potentiels peu élevés, comparables à ceux de l'électricité atmosphérique normale.

Il n'est pas facile d'imiter les actions de ce genre et de reproduire les conditions exactes où elles sont susceptibles de s'exercer dans la nature, sur la terre, sur les microbes qui la peuplent

(1) *Voir* le résumé de mes premières expériences dans l'*Essai de Mécanique chimique*, t. II, p. 383 et les expériences nouvelles et plus développées que j'ai rapportées dans le numéro de janvier 1899 des *Annales de Chimie et de Physique*.

et sur les végétaux qui s'élèvent à sa surface. Les conditions auxquelles je me suis arrêté dans les essais actuels ont consisté à placer la terre seule et la terre avec plantes dans un champ électrique, en maintenant, au moyen d'une pile ouverte, une différence de potentiel constante entre la terre, d'une part, et, d'autre part, la surface extérieure du champ électrique, limitée par des feuilles métalliques, étain et toile de fins fils de cuivre. Les dispositions adoptées seront décrites tout à l'heure. Ces conditions sont loin d'être les seules que l'on puisse imaginer, ni peut-être les plus favorables. Mais elles m'ont paru se rapprocher autant que possible de celles où s'exerce l'influence normale de l'électricité atmosphérique. La plupart des essais exécutés jusqu'à ce jour l'ont été par des procédés tout différents et qui n'ont qu'un rapport éloigné avec les conditions ordinaires de la végétation dans la nature.

A l'origine, l'abbé Nollet, suivi en cela par la plupart des expérimentateurs, se bornait à produire au travers de la plante et par ses extrémités l'écoulement de l'électricité fournie par une machine ordinaire. Dans ces conditions, l'évaporation est fort activée ; peut-être aussi certaines fonctions de la plante. Mais, si ces conditions ont quelque ressemblance avec l'action électrique exercée sur les plantes en temps d'orage, elles n'ont au contraire qu'une analogie fort éloignée avec l'action normale de l'électricité atmosphérique, agissant par de faibles tensions et sans faire intervenir ces écoulements énormes de fluide, qui se produisent pendant l'action d'une machine.

On a encore essayé de faire passer le courant électrique d'une pile, soit à travers la terre où se développent les plantes, soit à travers les plantes elles-mêmes. M. A. Gautier a annoncé qu'il avait entrepris des essais dans cette direction. Quel qu'en puisse être l'intérêt, ils s'appliquent à des condi-

tions spéciales et étrangères aux phénomènes naturels; car le courant de la pile développe sur son passage des réactions d'électrolyse et donne lieu à des oxydations et à des réductions d'un caractère tout particulier, lesquelles n'ont pour ainsi dire rien d'analogue avec ce qui se passe dans la végétation normale d'une plante.

La condition qui m'a paru se rapprocher le plus de celles où agit l'électricité atmosphérique normale consiste à opérer au sein d'un champ électrique, dont les limites offrent une différence de potentiel déterminée et au milieu duquel on effectue le développement de la plante : cette condition n'avait pas, à ma connaissance, été réalisée jusqu'à ce jour.

J'ajouterai que je ne me suis pas attaché spécialement à rechercher si une plante offre une apparence de développement plus rapide ou plus avancé sous l'influence de l'électricité, phénomènes dont la définition est vague et incertaine. Mais j'ai examiné si la plante et la terre fixent, sous l'influence de l'électricité, une dose d'azote supérieure à celle qu'elles peuvent fixer dans des conditions similaires sans électricité, phénomène susceptible au contraire d'une mesure exacte et d'une définition précise.

Les résultats observés paraissent positifs : je les exposerai tels quels et sans prétendre en tirer des conclusions trop étendues, spécialement en ce qui touche les questions suivantes sur lesquelles ils fournissent cependant des indications intéressantes.

L'électricité agit-elle en fixant directement l'azote sur les principes organiques du sol, indépendamment de la vie des êtres qu'il renferme, comme elle le fait sur les hydrates de carbone? Cela ne se concevrait guère : en effet, du moment où les principes immédiats de certains êtres organisés servent de support à l'azote, la fixation de cet élément devient corréla-

tive de la formation des principes azotés par les êtres vivants eux-mêmes.

L'électricité agit-elle dès lors uniquement en activant la vitalité des microbes du sol, ou bien la vitalité des végétaux supérieurs? Enfin, ces diverses actions s'exercent-elles simultanément ?

Sans m'arrêter davantage à cette discussion, je vais exposer mes observations.

Je décrirai d'abord les dispositions que j'ai adoptées pour placer la plante et la terre dans un champ électrique défini. Ces dispositions sont relatives :

1° Aux terres employées;

2° Aux vases qui les renfermaient, pots et cloches ;

3° Aux plantes qui s'y sont développées ;

4° Aux appareils électriques;

8° A la circulation de l'air, à l'arrosage, à l'introduction de l'acide carbonique.

1° Terres mises en expérience.

On a opéré sur deux terres différentes, l'une à peu près saturée d'azote (1gr,702 par kilogr.) ; l'autre plus pauvre (1gr,218 par kilogr.). Je rappellerai que cette saturation n'est pas définie uniquement par la dose de l'azote, mais par le rapport entre l'azote et la matière organique, qui s'élevait à 30 ou 40 grammes environ par kilogramme dans les terres précédentes. Ce carbone doit d'ailleurs appartenir à des composés humiques de formation ancienne et non à un terreau proprement dit, récemment fabriqué et riche en ammoniaque, ou bien encore à un fumier ammoniacal. Dans ces dernières conditions, il serait exposé à ne pas renfermer les êtres aptes à fixer l'azote : un semblable terreau ou fumier ammoniacal

paraissant contraire aux conditions de vie propres à ces microbes.

On a pris soin d'extraire les échantillons de terre précédents dans des points du terrain qui n'étaient pas recouverts par une végétation artificielle et intensive, et d'écarter la couche superficielle, riche en débris organiques, au moins jusqu'à une épaisseur de 2 à 3 centimètres. La préparation de ces terres a eu lieu d'ailleurs conformément aux indications décrites dans les précédents Chapitres.

Analyse. — Voici les résultats obtenus dans leur analyse, analyse effectuée chaque fois sur un échantillon de 20 grammes, au moyen de la chaux sodée.

Terre n° 1, S. (Pour 1 kilogramme sec.)

	gr.
Azote organique	1,717
	1,671
	1,717
Moyenne	1,702
Azote nitrique	0,0076
Matière minérale (par incinération)	946gr,9

Terre n° 2, N. (Pour 1 kilogramme sec.)

	gr.
Azote organique	1,221
	1.216
Moyenne	1,218
Azote nitrique	0,0097
Matière minérale (par incinération)	955gr,6

Argile blanche [kaolin]. (Pour 1 kilogramme sec.)

	gr.
Azote organique	0,0320
	0,0326
Moyenne	0,0323
Azote nitrique	0,0006

2° Vases.

Les terres ont été disposées dans des conditions différentes, savoir : dans des pots de porcelaine (fig. 9 et 10) de 282 centimètres carrés de section, en couche épaisse, sous un poids de

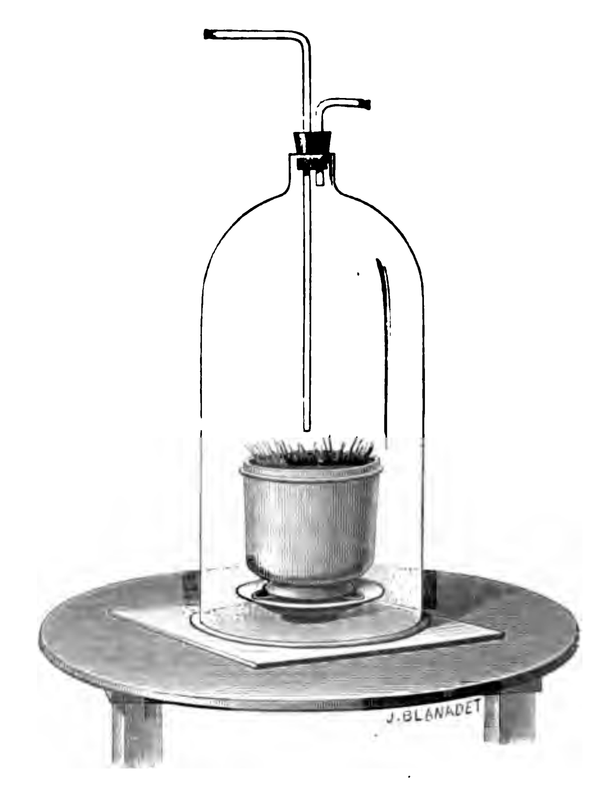


Fig. 9. — Pot placé sous une cloche.

2 à 3 kilogrammes, — c'est là l'une des conditions favorables pour la fixation de l'azote ; — et dans des assiettes, en couche mince, condition où l'azote au contraire ne se fixe guère.

Ces vases ont été placés tantôt à l'air libre, circulant libre-

ment (sous abri); tantôt sous de grandes cloches de 50 litres environ, hermétiquement closes, bien éclairées, mais protégées contre l'action directe du soleil.



Fig. 10. — Pots placés à l'air libre sous un abri.

On arrosait tous les jours les assiettes placées à l'air libre; ce qui ne les prémunissait pas toujours suffisamment contre les effets nuisibles d'une dessiccation rapide.

Les dessins ci-dessus (*fig.* 9 et 10), exécutés d'après des photographies, donnent une idée de ces deux dispositions.

Je rappellerai aussi les cloches du modèle figuré dans ce volume, p. 195, modèle disposé pour récolter les eaux de condensation.

J'y joindrai encore la figure des grands pots contenant de 40 à 50 kilogrammes de terre, employés dans certaines



Fig. 11. — Grands pots de 50 litres.

expériences et disposés de façon à recueillir les eaux de drainage (*fig.* 11).

3° Plantes et matériaux organiques mis en œuvre.

Tantôt j'ai opéré sur la terre seule; tantôt je l'ai ensemencée avec diverses Légumineuses, aptes à s'enrichir en azote sous les influences simultanées de la terre et de l'atmosphère, ainsi qu'il résulte de mes expérience antérieures.

Telles sont la vesce et la jarosse.

Je donnerai ici l'analyse des graines que j'ai mises en œuvre, au point de vue de leur richesse en azote et en cendres, analyses faites sur les échantillons mêmes mis en œuvre dans les présents essais.

Graines de vesce.

Sur 100 parties sèches :

Cendres	2,52
Azote	4,62
	4,76
Moyenne	4,69 centièmes.

Graines de jarosse.

Sur 100 parties sèches :

Azote........................ 3,29 centièmes.

Dans certains cas, on a employé une solution nutritive, formée avec un mélange fait à volumes égaux de solution de dextrine, de sulfate de fer, de potasse et de sulfate de magnésie, chacun de ces corps étant dissous dans la proportion de une demi-molécule par litre. On plaçait par exemple 8 centimètres cubes du mélange dans le vase mis en expérience. D'après un dosage spécial, 100 centimètres cubes de ce mélange contenaient :

Azote................................ 0gr,0044

On a aussi employé un extrait fait à froid avec de l'eau pure et une terre renfermant des microbes aptes à fixer l'azote. Cet extrait contenait sur 100 centimètres cubes :

Azote................................ 0gr,0033

Enfin du papier Berzélius, employé comme témoin dans certains essais, contenait, pour 10 grammes de papier sec :

Azote................................ 0gr,0036

La chaux sodée employée dans les dosages renfermait, pour 50 grammes :

Azote............................. 0gr,00116

poids qui a été corrigé dans les dosages.

4° Appareils électriques.

Ces appareils avaient pour objet de placer la terre nue, ou chargée de végétation, dans un champ électrique, en maintenant, au moyen d'une pile ouverte, une différence de potentiel constante entre la terre et la surface extérieure du champ, limitée par des surfaces métalliques.

Voici les dispositions adoptées :

Pile. — La pile était constituée par des éléments Leclanché. Ces éléments étaient disposés en tension, dans des boîtes de bois à compartiments, dont le fond était garni de paraffine. Chaque compartiment renfermait un élément. On fermait les boîtes avec un couvercle, de façon à éviter la pénétration de la pluie et de corps étrangers : des ouvertures étaient pratiquées sur les côtés, pour le passage des fils attachés aux deux pôles extrêmes.

Chaque boîte contenait 25 éléments. En assemblant quatre boîtes, on obtenait une pile de 100 éléments. Le potentiel, mesuré au début et vérifié chaque jour, à l'aide d'un voltmètre, était de 32 à 33 volts avec la pile de 25 éléments ; il était de 132 volts avec la pile de 100 éléments.

On a constaté ainsi que le potentiel, comme on devait d'ailleurs s'y attendre, demeurait constant pendant toute l'expérience, la pile ne travaillant pas d'une manière sensible, mais agissant uniquement par sa tension.

L'action de cette pile ouverte a été appliquée, suivant les

cas, à des matériaux contenus dans des pots ou dans des assiettes.

Jonction d'un pôle de la pile avec la terre des expériences. — Pots sans végétation. — Je décrirai d'abord les dispositions adoptées dans les cas où j'ai opéré avec la terre renfermée dans un grand pot de porcelaine, semblable à ceux que j'ai décrits et figurés dans le présent volume, p. 193 et 209.

Ce pot était posé sur un gâteau de résine isolant; trois lames de platine équidistantes (L), fixées sur le rebord supérieur

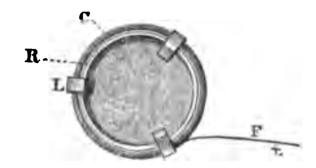


Fig. 12. — Projection horizontale des lames métalliques.

L, lames de platine. — R, rebord du pot. — C, couronne de fil de cuivre.

du pot (*fig.* 12), plongeaient simultanément dans la terre humide et la maintenaient au potentiel donné par un fil F, lié avec l'un des pôles de la pile.

Ces trois lames étaient reliées entre elles par une couronne de fil de cuivre rouge (C), appliquée à l'extérieur du pot contre son rebord supérieur, et à laquelle était fixé un autre fil, mis en communication directe avec le pôle de la pile.

La dernière communication était facile à établir quand on opérait à l'air libre. Lorsque le pot était sous cloche, on prenait comme dernier fil, à la suite de celui qui continuait la couronne, un petit câble fin entouré de gutta-percha, que l'on faisait sortir de la cloche par un tube de verre, disposé *ad hoc* (*fig.* 13) dans le bouchon qui fermait la tubulure supérieure. On fixait le câble dans ce tube de verre, à l'aide d'une certaine

quantité de cire rouge, jouant en même temps le rôle d'obturateur, de façon à maintenir la clôture hermétique de la cloche.

Telle était la disposition adoptée pour mettre la terre au potentiel de l'un des deux pôles : tantôt celui du pôle positif,

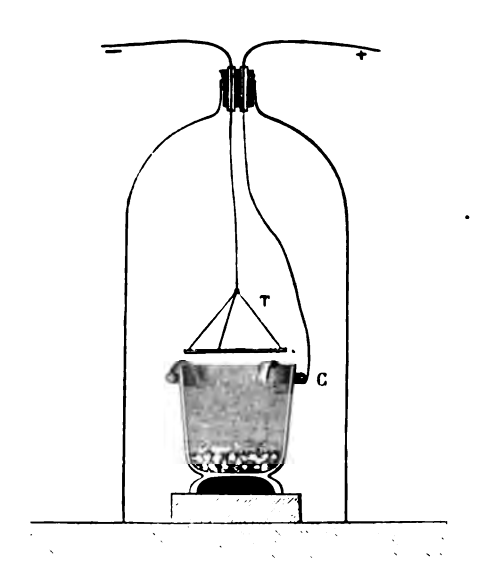


Fig. 13. — Section verticale du pot, sous cloche.

T, Cercle de toile métallique suspendu. — C, couronne de fil entourant le pot et reliée aux lames de platine.

tantôt celui du pôle négatif. J'ai pris soin d'alterner les expériences à ce point de vue.

Disposition d'un disque métallique placé au-dessus de la terre, et relié avec l'autre pôle de la pile. Formation du champ électrique. — Pots sans végétation. — Quant à l'autre pôle, voici comment on s'y est pris avec la terre nue. Au-dessus de la surface de celle-ci, et à la plus petite distance qui fût compatible à la fois avec la tension des fils et avec la nécessité d'empêcher, pendant le maniement des appareils, ou dans

toute autre hypothèse, le contact direct de la terre et du métal, susceptible de se réaliser accidentellement pendant le cours des expériences, on a placé un disque de toile métallique (T), formé de fils de cuivre rouge aussi fins que possible. On a préféré la toile métallique à une feuille continue du même métal, parce qu'elle empêchait à un moindre degré l'accès de la lumière dans le pot. Cette toile était découpée en forme de cercle, correspondant à la surface supérieure du pot, ou plus exactement à la surface de la terre qu'il renfermait, mais un peu plus petit, de façon à éviter de toucher les bords du pot.

On la maintenait suspendue dans cette position (*fig.* 13), à l'aide d'un système de fils de cuivre, attachés en quatre points diamétraux du cercle, opposés deux à deux et réunis ensemble au moyen d'un fil central, lequel était mis lui-même en communication avec le second pôle de la pile.

La communication des fils avec le pôle se faisait directement, quand on opérait à l'air libre ; mais, dans les expériences faites sous cloche, on reliait le fil intérieur avec un petit câble entouré de gutta-percha et qui traversait un tube de verre, percé dans le bouchon supérieur de la cloche, et fixé dans ce bouchon avec de la cire rouge, comme il a été dit plus haut pour l'autre pôle ; il se trouvait à côté du câble mis en communication avec cet autre pôle.

Le dessin ci-contre indique ces diverses dispositions.

On n'a pas figuré dans le bouchon de la cloche, pour simplifier, trois autres trous, munis de tubes de verre, destinés à permettre le renouvellement de l'air et, dans certains cas, l'introduction de l'eau, à l'aide d'un tube mobile plus petit, ou d'un pulvérisateur, suivant les cas.

La distance entre la surface de la terre et celle du cercle de toile métallique, distance qui règle le potentiel, a été en

général de 3 à 4 centimètres. Il n'a pas été possible en pratique de la réduire davantage, à cause des déplacements qui se produisent au moment où l'on ajuste la cloche, son bouchon, ses câbles, etc.

Assemblage de plusieurs vases maintenus au même potentiel. — Ajoutons encore que la même pile peut servir à maintenir à un potentiel constant plusieurs pots, plusieurs assiettes, plusieurs cloches à la fois, à l'aide d'un système convenable de dérivations : ce qui n'a pas d'inconvénients, la pile étant ouverte et ne dépensant rien, ou, plus exactement, ne fournissant que la quantité d'électricité nécessaire pour compenser celle qui se perd lentement, à travers l'air et les autres diélectriques. Seulement il est indispensable, chaque fois que l'on met un nouveau système en rapport avec les pôles par une dérivation spéciale, de vérifier à l'aide du voltmètre que le potentiel demeure constant, et de faire cette vérification chaque jour : ce qui s'exécute d'une manière fort prompte d'ailleurs. Le moindre contact abaisse ou annule la différence de potentiel ; mais la recherche en est alors facile et l'on y remédie aussitôt.

Dispositions relatives aux assiettes. — Un certain nombre d'essais ont été exécutés sur des quantités moindres de terre, placées en couches minces dans des assiettes. Voici les dispositions spéciales à ces essais : elles reposent sur les mêmes principes que les précédents.

Soit d'abord une assiette unique.

On la pose sur un gâteau de résine, destiné à l'isoler ; puis on y place la terre. On introduit dans la terre, à des distances angulaires de 120°, trois lames de platine minces, larges de 1 centimètre et longues de 7 à 8 centimètres, immergées par un bout dans la terre. L'autre bout se replie le long du bord de l'assiette et au-dessous. Là, il rencontre une feuille annu-

laire d'étain, collée à l'avance sur la face inférieure du rebord de l'assiette. On y fixe la lame de platine sur l'étain, à l'aide d'une forte étiquette gommée, ou par tout autre procédé. Sur un autre point de cette couronne d'étain est fixée de même une lame de cuivre mince, flottante au dehors et attachée à un fil de cuivre rouge, placé lui-même en rapport avec l'un des pôles de la pile. La terre de l'assiette est mise ainsi au potentiel de ce pôle.

D'autre part, au-dessus de l'assiette et à la distance la plus petite possible de la terre, sans cependant la toucher, on suspend une feuille métallique circulaire, formée soit avec une toile de cuivre, soit avec une lame pleine du même métal, laquelle est mise en communication par un fil avec l'autre pôle de la pile. Quand on opère à l'air libre, la disposition des fils n'offre aucune difficulté ; si l'on opère sous cloche, le dispositif pour y introduire les deux électrodes est le même que pour les pots. Il n'y a là aucune difficulté particulière.

Piles d'assiettes. — Toutefois, en raison du nombre des essais que j'ai dû faire et du caractère limité de mes emplacements, j'ai dû superposer un certain nombre d'assiettes, en forme de pile, soit à l'air libre, soit sous une même cloche. Dans ce cas, voici comment j'opère : une première assiette, inférieure, est déposée sur un support isolant (gâteau de résine circulaire). Les lames et fils métalliques, destinés à déterminer le potentiel de la terre, sont ajustés comme plus haut ; à cela près que le fil en communication avec le pôle de la pile est fixé le long d'une sorte de colonne verticale en bois ou en métal (*fig.* 14), qui permet d'y rejoindre successivement les fils analogues provenant des assiettes superposées.

Mais le disque de métal placé au-dessus de la terre de la

première assiette, au lieu d'être libre et flottant, est fixé à l'aide d'une couche de résine fondue au-dessous du fond de la seconde assiette, que l'on peut superposer alors à la première ; en évitant d'ailleurs très soigneusement de faire toucher les deux assiettes.

Cette seconde assiette elle-même est portée sur trois fragments de liège taillés, enduits soigneusement de gomme

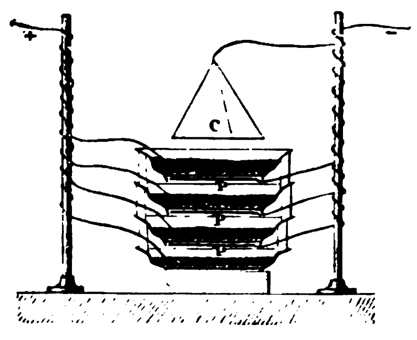


Fig. 14.

laque et fixés sur le pourtour de la face supérieure de la première assiette.

La seconde assiette, ainsi déposée d'une manière stable au-dessus de la première, dont elle est d'ailleurs parfaitement isolée, reçoit à son tour de la terre et des ajustements semblables. Elle peut servir de support à une troisième assiette, et ainsi de suite indéfiniment.

Une petite colonne latérale supporte tous les fils mis en rapport, d'une part, avec la terre, et, de l'autre, avec le pôle positif de la pile. Une autre colonne semblable supporte tous les fils mis en rapport, d'une part, avec les disques métalliques placés au-dessus de la terre, et, de l'autre, avec le pôle négatif de la pile. Au-dessus de la dernière assiette, un disque métallique demeure suspendu. La figure ci-dessus donne une idée de ces dispositions.

Tout ce système peut être disposé à l'air libre, ou bien placé sous une cloche.

Pots avec végétation. — Reste maintenant à décrire les dispositions adoptées pour les pots dans lesquels on a fait développer des végétaux : dispositions plus compliquées, à cause de la nécessité d'éviter le contact des conducteurs métalliques avec une plante dont la forme et la disposition changent incessamment, et en même temps d'assurer l'éclairage de celle-ci, son arrosage, enfin le renouvellement de l'air dans les cloches, toutes les fois que l'on n'a pas opéré à l'air libre.

Ces difficultés sont telles et se renouvellent si fréquemment par les progrès mêmes de la végétation que l'on ne saurait affirmer les avoir toujours complètement résolues. Leur principal inconvénient a été d'obliger à réduire le potentiel du champ électrique, bien au-dessous de ce que l'on avait espéré d'abord, afin de prévenir les contacts de la plante et des parties métalliques.

Voici quelles ont été les dispositions que j'ai été conduit à suivre.

Jonction de la terre avec l'un des pôles de la pile. — Pots avec végétation. — D'une part, trois lames de platine, équidistantes et fixées sur le pourtour du pot sont immergées dans la terre, et reliées entre elles par un fil circulaire, qui communique lui-même par un fil avec l'un des pôles de la pile : cette disposition est la même que ci-dessus.

Mais il y a des différences considérables pour la disposition des surfaces métalliques que l'on met en communication avec le pôle opposé.

Tout d'abord, pour empêcher la plante de s'écarter du pot, au moins tant que sa hauteur ne surpasse pas 2 décimètres, on a disposé un cylindre de verre mince de cette hauteur,

ouvert aux deux bouts et posé à sa partie inférieure sur le rebord en forme de bague qui limite le haut du pot.

Quand le pot est parfaitement circulaire, cet ajustement se fait par simple apposition du cylindre, convenablement choisi dans une fabrique de verres ou globes destinés à recouvrir les pendules. Si le pot offre quelque irrégularité, on prend comme base destinée à supporter le cylindre trois petits morceaux de liège, enduits de gomme laque et collés à la cire sur le rebord même du pot.

Jonction de l'autre pôle avec des surfaces métalliques isolées de la terre. — Formation du champ électrique. — Pots avec végétation à l'air libre. — Cela fait, on fixe sur le pourtour du pot, et selon un plan horizontal situé à 1 ou 2 centimètres plus bas, trois morceaux de bois ou de liège enduits de gomme laque et traversés par un fil de cuivre circulaire dont on se sert pour serrer fortement ce système contre la paroi du pot : cela suffit pour les maintenir. Au besoin, on achève de les fixer au moyen de cire rouge. Ces trois morceaux servent alors à supporter un second cylindre de verre, enveloppant le premier annulairement à une distance de 10 à 15 millimètres, cylindre garni avec une feuille d'étain préalablement collée sur toute sa surface intérieure.

En deux ou trois points de la feuille d'étain sont appliquées, fixées et maintenues par encollage, entre feuille d'étain et verre, de larges lames de cuivre rouge très minces, quoique douées de quelque rigidité. Ces lames sont reliées par un fil avec l'autre pôle de la pile. Elles le sont en même temps qu'un disque circulaire horizontal, formé par une toile de fils de cuivre rouge et que l'on tient suspendu par des fils de cuivre au-dessus de l'ouverture du cylindre intérieur, afin de compléter autant que possible la fermeture ou plutôt l'investissement du champ électrique. Lorsque la plante, en

grandissant, menace d'atteindre ce disque, on le soulève de jour en jour. Il y a là des précautions spéciales et une surveillance continue à observer. En effet, dès qu'une feuille ou autre partie de la plante touche l'armature opposée, il s'établit un courant électrique avec électrolyse, qui détruit la partie végétale par laquelle elle s'exerce. Il faut aussitôt modifier les dispositions, de façon à rompre cette communication.

Tel est le système que j'ai adopté pour les pots placés à l'air libre.

Champ électrique. — Pots avec végétation, sous cloche. — Sous cloche, le maniement du disque métallique étant trop difficile, j'ai modifié en ce qui le concerne les dispositions précédentes. J'ai garni de feuilles d'étain toute la partie supérieure du dôme de la cloche, et j'ai collé deux longues feuilles étroites de ce métal, verticalement, du haut en bas, l'une vis-à-vis de l'autre. D'autre part, chacune des lames de cuivre mince, jointes à l'armature du cylindre de verre extérieur au pot, a été repliée à plusieurs reprises sur elle-même en forme d'hélice, de façon à constituer un ressort susceptible de s'appliquer par sa propre tension sur l'une des feuilles verticales d'étain. L'armature extérieure se trouve ainsi complétée. Sur les feuilles d'étain d'ailleurs est appliqué, par l'intermédiaire du bouchon de la cloche, un fil de cuivre qui les met en communication avec un pôle de la pile, pôle opposé à celui qui est joint avec la terre et par conséquent avec les plantes.

Ces dispositions permettent d'effectuer la végétation dans un champ électrique suffisamment défini. Malheureusement, l'étendue du champ ne permet pas de donner à la tension une valeur bien élevée, et en outre les cylindres garnis d'étain et les toiles métalliques diminuent beaucoup la quantité de

lumière, par rapport à celle qui arrive aux plantes dans les expériences comparatives, faites simultanément sans le concours de l'électricité.

5° Circulation d'air, introduction d'acide carbonique et arrosage.

Circulation d'air. — Le renouvellement de l'air est indispensable pour le succès des expériences sur la végétation. Ce fait est bien connu; il faut même que ce renouvellement soit considérable, et il semble que l'activité de la végétation en dépende jusqu'à un certain point.

Pour les pots situés en plein air, il n'y a point de difficulté ; l'air atmosphérique se renouvelant spontanément et apportant en même temps l'acide carbonique nécessaire pour la nourriture de la plante.

Sous cloche, j'ai dû adopter des dispositions spéciales. J'ai construit au voisinage une trompe, capable de faire passer en une heure 150 litres d'air environ dans chacune de mes cloches, lesquelles en contenaient 50 seulement. Cet air était puisé quelques mètres au-dessus d'une grande prairie et traversait un flacon laveur, renfermant de l'acide sulfurique étendu, de façon à le purger des traces d'ammoniaque qu'il pouvait contenir; traces dont l'accumulation d'ailleurs n'aurait, dans aucune hypothèse, pu produire que des effets négligeables, en raison de la petitesse relative du volume d'air mis en œuvre dans le cours total de l'expérience. Cependant il m'a paru préférable d'en débarrasser l'air. Chaque jour, je faisais ainsi passer dans chaque cloche un volume d'air pur, triple de celui qu'elle contenait, et qui arrivait vers le centre de la cloche par un tube approprié ; l'extraction ayant lieu par un orifice situé à la partie supérieure.

Introduction d'acide carbonique. — Quant à l'acide carbonique, aussitôt le passage de l'air terminé, je faisais pénétrer dans la cloche, vers son centre, un litre environ d'acide carbonique gazeux et lavé dans l'eau; ceci chaque jour également. On obtenait ainsi une atmosphère contenant 2 centièmes environ de ce gaz en volume, ce qui est une proportion favorable à la végétation.

Arrosage à l'air libre. — L'arrosage a été exécuté par les procédés suivants. Quand on opérait à l'air libre, on versait chaque jour (excepté les jours de pluie, où l'air était saturé d'humidité), dans chaque pot, 100 centimètres cubes d'eau distillée; en été, cette affusion était même répétée deux fois. Ceci a été réalisé sur les pots garnis de végétaux, aussi bien que sur ceux qui renfermaient seulement de la terre nue. Dans les assiettes, on a également versé chaque jour 50 centimètres cubes d'eau distillée.

Récolte de l'eau condensée aux parois des cloches. — Sous les cloches, il s'effectuait une distillation lente de l'eau qui s'échappait de la terre et venait se condenser sur les parois; elle s'y rassemblait à la partie inférieure dans les coupes de verre que j'ai décrites et figurées dans le présent volume, p. 195. On la recueillait fréquemment, à l'aide d'un robinet inférieur, et on la soumettait à des analyses, dont le résultat sera présenté ailleurs.

Arrosage sous cloche. — Pour remplacer cette eau éliminée, on introduisait, chaque jour, par l'une des tubulures supérieures de la cloche, la pointe d'un pulvérisateur, au moyen duquel on projetait, à l'état de fine pluie, 10 grammes ou même 20 grammes d'eau pure, suivant les cas.

Lorsque l'évaporation avait été trop active, qu'elle avait dépassé cette mesure, desséché la terre et paru faire souffrir les plantes, — ce qui est arrivé plusieurs fois en été, — j'ai

alors versé par l'un des tubes, vers le centre de la cloche, 50 centimètres cubes, ou même 100 centimètres cubes d'eau, qui tombait directement sur la terre du pot. On note d'ailleurs avec soin chacune de ces additions, faites à l'aide d'une même provision d'eau distillée.

A l'aide de ces dispositions, on peut fournir aux plantes sous cloche l'air, l'eau et l'acide carbonique nécessaires à leur développement.

Le moment est venu d'entrer dans le détail de mes expériences. Je vais d'abord en donner la liste, avec indication des conditions générales où je me suis placé.

I. — Terre nue (contenant des microbes divers).

Deux échantillons de terre ont été employés : l'une, la terre N non saturée d'azote ($1^{gr},218$ par kilogramme sec); l'autre, la terre S, à peu près saturée d'azote ($1^{gr},702$ par kilogramme sec), c'est-à-dire presque incapable d'en absorber une nouvelle dose (p. 142) : en raison principalement de sa composition comme matière organique, et surtout d'après les expériences antérieures faites avec cette même terre.

On a opéré par couples d'expériences similaires, l'un des échantillons étant électrisé, l'autre n'éprouvant point d'action électrique spéciale. Le potentiel a été pris tantôt égal à 33 volts, tantôt à 132 volts. Enfin chaque expérience a été faite à la fois et simultanément à l'air libre, sous un abri, conformément à la *figure* 10 de la page 437, et sous cloche, conformément à la *figure* 13 de la page 442.

Tous les systèmes ont été expérimentés dans des pots de porcelaine, et un certain nombre dans des assiettes (fig. 14, p. 446).

Voici la liste méthodique des essais :

- N° 107. Terre N; nue, air libre, non électrisée; assiette.
- N° 108. Terre N; nue, air libre, électrisée; assiette.
- N° 111. Terre N; nue, sous cloche, non électrisée; assiette.
- N° 109. Terre N; nue, sous cloche, électrisée; potentiel, 33 volts; pot.
- N° 110. Terre N; nue, sous cloche, électrisée; potentiel, 132 volts; pot.
- N° 84. Terre S; nue, air libre, non électrisée; pot et assiettes.
- N° 87. Terre S; nue, air libre, électrisée, 33 volts; pot et assiettes.
- N° 78. Terre S; nue, sous cloche, non électrisée; pot et assiettes.
- N° 81. Terre S; nue, sous cloche, électrisée, 33 volts; pot et assiettes.

Donnons le détail de toutes les expériences, sans en omettre aucune.

PREMIÈRE SÉRIE. — *Terre non saturée d'azote (1gr,218 par kilogramme).*

Expériences faites dans des assiettes, sans électricité.

N° 107. *Terre* N. — Assiette, air libre, sous abri, non électrisée.

Durée : du 5 juin au 9 août 1889 (deux mois).

148 grammes de terre supposée sèche, avec addition de 15 grammes d'eau au début. On arrose de temps en temps.

	gr.
Azote organique initial	0,180
Azote nitrique initial	0,0015
Azote ammoniacal contenu dans l'eau d'arrosage	0,0007
Somme	0,182

	gr.
Azote organique final	0,177
Azote nitrique final	0,004
Somme	0,181

Le gain ou la perte ont été sensiblement nuls, dans ces conditions.

N° 111. *Même terre* N. — Dans une assiette, sous une cloche de 50 litres.

Durée : du 5 juin au 10 août.

148 grammes de terre supposée sèche, avec addition de 15 grammes d'eau au début.

	gr.
Azote nitrique initial..................	0,180
Azote organique final............... ..	0,1805

L'azote nitrique final n'a pas été dosé. La dose initiale était $0^{gr},0015$, c'est-à-dire faible; dans tous les essais analogues, ses variations ont été trouvées minimes.

Gain sensiblement nul, comme au n° 107.

Ainsi, dans les expériences faites sur la terre exposée à l'air libre, ou même sous une grande cloche, en couche mince et soumise à des alternatives de dessiccation et d'humidité, aussi bien que dans tous les essais analogues opérés sans le concours de l'électricité, je n'ai pas trouvé en général de fixation d'azote. Cet effet résulte-t-il d'une oxydation excessive, réalisée dans ces conditions (1), ou de quelque autre cause, également capable de faire périr les microbes fixateurs d'azote ? La première opinion me paraît probable ; mais je ne prétends pas la décider entièrement : je me borne à constater le fait.

On remarquera que dans les expériences faites à l'air libre les traces d'ammoniaque que l'air atmosphérique peut contenir n'ont pas concouru à faire varier la dose d'azote dans la terre. On remarquera encore la concordance des résultats obtenus à la fin avec les résultats initiaux, ainsi que celle des résultats obtenus avec les divers échantillons : double concordance qui fournit un nouveau contrôle de la précision des méthodes d'analyse et qui rend par là même décisifs les résultats où l'on a observé la fixation de l'azote.

(1) Voir ce volume, p. 139 et 224, 226, etc.; il s'agit de terres ameublies et en couches minces.

Voici maintenant les résultats obtenus avec le concours de l'électricité.

Expériences faites dans des assiettes, avec le concours de l'électricité; air libre.

N° 108. *Même terre* N. — Assiette, air libre, sous abri.

On opère avec électrisation : le potentiel aux limites du champ électrique a été de 33 volts pendant toute la durée de l'expérience. Pôle + à la terre.

Durée : du 5 juin au 9 août 1889 (deux mois). 148 grammes de terre supposée sèche et 15 grammes d'eau initiale; on arrose fréquemment.

	gr.
Azote organique initial	0,180
Azote nitrique initial	0,0015
Azote ammoniacal de l'eau d'arrosage	0,0007
Somme	0,182

	gr.
Azote organique final	0,176
Azote nitrique final	0,004
Somme	0,180

Gain ou perte sensiblement nuls ; précisément comme dans les expériences précédentes et sans doute pour les mêmes causes, malgré le concours de l'électricité : l'oxydation excessive et la dessiccation sans cesse reproduite de la terre ayant contrarié la vie des microbes fixateurs d'azote.

Expériences faites dans des assiettes placées sous cloche, avec le concours de l'électricité.

Ces expériences ont, au contraire, donné des résultats positifs. Ils sont d'autant plus concluants qu'ils ont été exécutés sur des assiettes, condition peu favorable d'après

les observations nos 107, 108 et 111. Si les essais actuels ont réussi, c'est sans doute parce qu'en opérant sous cloche, les assiettes ont pu être maintenues continuellement humectées.

N° 109. ***Même terre*** N. — Assiette sous une cloche de 50 litres. Du 5 juin au 12 août 1889.

184 grammes de terre supposée sèche et 15 grammes d'eau au début.

La terre est placée dans un champ électrique dont les limites offrent une différence de potentiel de 33 volts : différence vérifiée chaque jour. Le pôle négatif est plongé dans la terre. Air non renouvelé.

	gr.
Azote organique initial	0,180
Azote organique final	0,188

On avait d'ailleurs :

	gr.
Azote nitrique initial	0,0011
Azote nitrique final	non dosé

Le gain en azote, en négligeant l'azote nitrique, s'est élevé à 4,4 centièmes, dans ces conditions.

N° 110. ***Même terre*** N. — Assiette placée sous cloche. Du 8 juin au 13 août 1889.

Même poids de terre, électrisation avec un potentiel quadruple : 132 volts ; pôle + à la terre.

Air non renouvelé sous la cloche.

	gr
Azote organique initial	0,180
Acide organique final, première analyse	0,1925
— — deuxième analyse	0,189
Moyenne	0,190

On avait d'ailleurs :

	gr.
Azote nitrique initial	0,0011
Azote nitrique final	non dosé

En négligeant l'azote nitrique, on aura donc :

Gain en azote ; 6,1 centièmes, dans ces conditions.

Ainsi dans les deux expériences faites sous cloche avec le concours de l'électricité, il y a eu gain d'azote, malgré la condition défavorable d'oxydation excessive, due à la minceur de la couche de terre dans les assiettes.

Enfin le gain le plus fort répond au potentiel le plus considérable.

DEUXIÈME SÉRIE. — *Terre* S *à peu près saturée d'azote* (1gr,702 *par kilogramme*).

Les expériences faites sur des assiettes, avec cette terre disposée en couche mince et qui se desséchait rapidement, ont toutes donné des résultats nuls ou sensiblement nuls, conformément à ce qui a été signalé plus haut.

Au contraire, les expériences comparatives faites sur des pots, avec la même terre disposée en couche profonde et qui ne se desséchait pas, ont fourni toutes des résultats positifs : résultats peu marqués d'ailleurs, à cause de l'état de saturation approchée de cette terre. Je vais présenter tous ces résultats, sans exception. Le poids de la terre (supposée sèche) a été tantôt de 2kg,139, tantôt de 3kg,112. Cette terre a été additionnée avec une dose uniforme de 10 centièmes d'eau. Elle reposait sur un lit de gros morceaux de pierres siliceuses (préalablement stérilisées en les passant au four), de façon à y permettre une lente circulation d'air (*fig.* 13, p. 442). La surface de chaque pot était 282 centimètres carrés environ. Dans les pots placés à l'air libre, on arrosait tous les jours avec 50 centimètres cubes d'eau distillée.

N° 84. *Terre* S. — Pot renfermant 2139 grammes de terre supposée sèche.

On a complété l'eau qui y préexistait, de façon que la terre en renfermât 214 grammes.

A l'air libre, sans abri, non électrisé.

Durée du 18 mai au 23 juillet 1889 (deux mois).

Il a été fait des prises d'échantillons à deux époques successives.

	gr.
Azote organique initial................	3,6431
Azote nitrique........................	0,0162
Azote ammoniacal de l'eau d'arrosage jusqu'au 13 juin.....................	0,00085
Somme............	3,661

Le 13 juin, on a prélevé une tranche de terre, dans toute l'épaisseur du centre à la circonférence, c'est-à-dire en forme de secteur; cette tranche représentait environ le dixième du poids de la terre. On y a trouvé, pour 100 parties de terre sèche:

	gr.
Azote organique, première analyse.....	1,7340
— deuxième analyse.....	1,7544
Moyenne....... ..	1,7444

Résultat supérieur à la dose initiale ($1^{gr},702$ par kilogr.).

En rapportant les résultats par le calcul à la masse totale, on voit qu'elle devait renfermer à ce moment :

Azote organique............................	$3^{gr},7306$
Retranchons l'azote organique initial de la terre et l'azote ammoniacal d'arrosage (1), soit.	$3^{gr},6440$
On aura un gain d'azote organique...........	$0^{gr},0806$

c'est-à-dire un gain de 2,2 centièmes; gain minime et qu'on ne saurait garantir absolument.

L'expérience a été poursuivie sur le reste de la terre des pots, mélangée et nivelée de nouveau dans le pot même.

(1) L'azote nitrique, faible d'ailleurs, n'avait pas dû diminuer, mais au contraire s'accroître un peu, d'après l'essai fait un mois après. On l'a compté à part.

L'azote des eaux d'arrosage, pendant cette seconde période, s'est élevé à $0^{gr},0026$.

Le 23 juillet, on a mis fin à l'expérience, et l'on a partagé la terre restante du pot en deux portions : une couche supérieure, qui en formait environ le quart, et une couche inférieure qui formait le reste.

On a trouvé :

Couche supérieure.

		gr.
Azote organique par kilogramme, premier essai	....	1,7092
— — second essai	....	1,6972
Moyenne	....	1,7032

Couche inférieure.

		gr.
Azote organique par kilogramme, premier essai	....	1,7264
— — second essai	....	1,7472
Moyenne	....	1,7368

On remarquera que la richesse en azote de la surface est moindre que celle des tranches profondes : c'est là un résultat attribuable à une oxydation excessive, je l'ai déjà constaté à plusieurs reprises (p. 27, 29, 32, 35, etc.). Je rappellerai que le fait lui-même est peu favorable à l'hypothèse d'un enrichissement de la terre par l'ammoniaque atmosphérique.

A la fin, cette terre renfermait dans sa totalité :

Azote nitrique final : $0^{gr},031$;

Au lieu d'azote nitrique initial : $0^{gr},016$;

c'est-à-dire qu'elle ne s'était nitrifiée que suivant une faible proportion.

En rapportant les résultats aux poids respectifs des deux couches, on trouve, pour la composition moyenne de la terre du pot, à la fin de l'expérience, par kilogramme :

Azote organique .... $1^{gr},7284$

Si l'on y joignait l'azote nitrique, on aurait $1^{gr},744$.

La terre initiale renfermait, par kilogramme :

Azote organique	1gr,702

Elle a gagné, par arrosage : 0gr,0015.

En déduisant ce nombre et l'azote nitrique, on trouve, pour le gain final d'azote : 0gr,026 ou 1,5 centième ;

Ou bien 0gr,034, c'est-à-dire 1,7 centième, si l'on néglige l'azote nitrique.

En résumé, cette terre, conformément à ce que sa composition initiale (azote et matière organique) permettait de prévoir d'ailleurs, n'a pour ainsi dire pas varié dans sa richesse en azote pendant les deux mois de l'expérience : elle était à peu près saturée d'azote dès le début.

La même vérification a été faite sur une assiette renfermant la même terre en couche mince, et placée dans les mêmes conditions que le pot. En voici les chiffres, que je donne pour ne rien omettre :

84 *a*. — 145gr,8 (terre supposée sèche).

		gr.
	Azote initial	0,248
	Azote d'arrosage	0,00017
13 juin.	Azote	0,244
	Nouvel azote d'arrosage	0,005
23 juillet.	Azote final	0,246

N° 87. *Même terre* S. — Pot renfermant 3112 grammes de terre (supposée sèche). — Air libre, sous abri.

Électrisée. Potentiel, 33 volts ; pôle + à la terre.

Durée : du 22 mai au 30 juillet (deux mois).

Il a été fait deux prises successives d'échantillons. L'eau présente au début s'élevait à 311 grammes, et l'on a arrosé régulièrement avec de l'eau distillée, en proportion connue.

	gr.
Azote organique initial	5,2960
Azote nitrique initial	0,0236
Azote ammoniacal d'arrosage, jusqu'au 17 juin	0,00085

Le 17 juin, on a prélevé une tranche de terre, en forme de secteur vertical, comme ci-dessus : cette terre contenait, pour 1 kilogramme :

	gr.
Azote arganique, premier essai........	1,6768
— second essai...... ..	1,9666
Moyenne................	1,6737

ce qui accuserait une légère diminution dans l'azote initial, soit 1,6 centième, nombre compris dans les limites d'erreur. L'influence de l'électricité pendant cette première période aurait donc été nulle; probablement parce que les êtres vivants de la terre se sont mal développés tout d'abord.

Du 17 juin au 30 juillet, on a continué l'expérience ; l'eau d'arrosage a fourni 0^{gr},0025 d'azote.

Le 30 juillet, on a arrêté l'expérience et l'on a partagé la terre en deux portions : l'une superficielle, représentant environ le quart de la masse ; l'autre plus profonde, contenant le reste.

On a trouvé :

Couche superficielle pour 1 kilogramme de terre sèche.

	gr.
Azote organique, premier essai........	1,7632
— second essai.........	1.7530
Moyenne................	1,7581

Couche profonde, pour 1 kilogramme de terre.

	gr.
Azote organique, premier essai........	1,7695
— second essai.........	1,7542
Moyenne................	1,7619

Ces deux résultats peuvent être regardés comme sensiblement identiques. La composition moyenne de la terre pour 1 kilogramme sec serait dès lors 1^{gr},761 par kilogramme.

Soit, pour la terre totale du pot : 5gr,480.

Enfin l'azote nitrique final était de 0gr,031 par kilogramme, comme plus haut.

D'après ces résultats, la terre électrisée a gagné en définitive 0gr,189 d'azote, c'est-à-dire 3,6 centièmes.

N° 87 *a*. — Ce gain n'a été observé que dans la terre profonde des pots sur laquelle on a opéré. Dans une assiette mise en expérience simultanément, la terre étant en couche mince, on a trouvé :

	gr.
Azote organique initial................	0,248
— final................	0,239

Il y aurait ici une légère perte ; mais elle est due probablement à la formation des nitrates, que l'on n'a pas dosés.

Passons maintenant au couple similaire d'expériences faites sous cloche.

N° 78. *Terre* S. — Pot renfermant 2139 grammes de terre supposée sèche. Sous une cloche close. Air renouvelé une seule fois, au moment de la première prise d'échantillon.

Système non électrisé. L'eau s'élevait au début à 214 gr. ; on n'a pas arrosé.

Duréee : du 18 mai au 27 juillet 1889.

	gr.
Azote organique initial.................	3,640
Azote nitrique initial.................	0,0162

Le 13 juin, on a prélevé une tranche de terre, en forme de secteur vertical allant du centre à la circonférence ; cette terre renfermait, pour 1 kilogramme sec :

	gr.
Azote organique, premier essai........	1,6877
— second essai.........	1,7181
Moyenne................	1,7029

titre identique au titre initial (1gr,702).

Il s'était condensé aux parois 200 centimètres cubes d'eau, renfermant Az combiné = $0^{gr},0021$. Je cite le fait pour ne rien omettre; mais je reviendrai ailleurs sur ces eaux de condensation.

L'expérience a été poursuivie, en remplaçant à mesure l'eau condensée.

Le 20 juillet, on a mis fin à l'expérience. On a partagé la terre du pot en deux portions : la partie supérieure, représentant à peu près le quart, et le surplus, formant la partie inférieure.

La partie supérieure contenait, pour 1 kilogramme sec :

	gr.
Azote organique, premier essai.........	1,7598
— second essai.........	1,7455
Moyenne.................	1,7526

La partie inférieure :

	gr.
Azote organique, premier essai.........	1,7488
— second essai..........	1,7488
Moyenne.................	1,7488

Ces nombres peuvent être signalés comme identiques aux précédents; ils répondent à une moyenne générale de $1^{gr},750$.

Soit, pour la totalité de la terre du pot : $3^{gr},752$.

Ce qui fait un gain de $0^{gr},102$ c'est-à-dire 2,8 centièmes.

L'azote nitrique a été dosé dans tous les échantillons. Il s'élevait, à l'origine, par kilogramme de terre sèche, à $0^{gr},007$ par kilogramme.

Le 13 juin, on a trouvé :

$0^{gr},019$ par kilogramme sec.

Le 26 juillet :

	gr.	
Couche supérieure.................	0,031	par kilogramme sec.
Couche inférieure.................	0,017	—
Valeur moyenne pour la totalité....	0,027	

Cette terre s'est donc trouvée dans des conditions de nitrification lente, un peu plus active à la vérité dans les couches superficielles que dans les couches profondes.

La fixation d'azote a eu lieu pareillement dans les deux ordres de couches; elle a été peu prononcée d'ailleurs.

78 *a*. On avait opéré simultanément dans une assiette avec la même terre, sous cloche, avec 145gr,8 de terre (supposée sèche), additionnée de 15 grammes d'eau. Cette terre contenait, le 18 mai :

	gr.
Azote organique initial................	0,248
Azote nitrique........................	0,001

Le 26 juillet :

	gr.
Azote final..........................	0,253
Azote nitrique........................	non dosé

Le gain serait ici d'environ 2 centièmes; c'est-à-dire un peu inférieur à celui de la terre du pot.

81. *Terre* S. — Pot renfermant 3112 grammes de terre supposée sèche. Eau 311 grammes. On a ajouté, à différentes reprises, de l'eau dans la cloche.

Sous cloche close.

Air renouvelé une seule fois, au moment de la première prise d'échantillon.

Électrisé. Potentiel aux limites du champ électrique : 33 volts; vérifié chaque jour. Pôle à la terre.

Durée : du 22 mai au 29 juillet.

	gr.
Azote organique initial, par kilog......	1,702
Pour la terre totale..................	5,296

On avait d'ailleurs.

	gr.
Azote nitrique, pour 1 kilog...........	0,007
Pour la totalité......................	0,0236

Le 17 juin, on a prélevé un secteur de la terre du pot, dont l'analyse a fourni :

	gr.
Azote organique, premier essai.........	1,663
— second essai..........	1,668
Moyenne...........	1,665
Ce qui ferait pour la totalité...........	5,184

A ce moment on a trouvé dans cette terre :

Azote nitrique, $0^{gr},02950$ par kilogramme.

Soit pour la totalité : $0^{gr},092$.

Les eaux de condensation renfermaient :

Azote................................	$0^{gr},004$

Si l'on ajoute ces diverses quantités d'azote, on trouve à ce moment :

Azote total................	$5^{gr},280$

chiffre qui ne s'écarte pas sensiblement de celui de l'azote initial.

Il paraît donc que la fixation de l'azote ne s'était pas encore opérée pendant cette première période, conformément à ce qui a été déjà remarqué aux pages 461 et 462.

Il semble d'après ces faits que les microbes fixateurs d'azote de la terre doivent d'abord acquérir une certaine vitalité, avant d'exercer leur fonction spécifique.

Voici maintenant les résultats obtenus le 29 juillet. Dans les couches supérieures de la terre du pot, formant environ le quart de la masse, on a trouvé :

Pour 1 kilogramme de terre sèche :

	gr.
Azote organique, premier essai.........	1,6931
— second essai..........	1,7085
Moyenne..................	1,7008

Couche inférieure, formant environ les trois quarts de la masse.

Pour 1 kilogramme de terre sèche :

	gr
Azote organique, premier essai........	1,7858
» second essai.........	1,8013
Moyenne..................	1,7935

On en conclut pour l'azote final, rapporté au poids primitif de la terre : 5gr,109.

Le gain est égal à 0gr,229; c'est-à-dire à 4,4 centièmes. Complétons ces données par les dosage de l'azote nitrique. Cet azote s'élevait au début, par kilogramme, à 0gr,007.

Le 3 juin on a trouvé :

0gr,0295.

Le 29 juillet :

	gr.
Couche supérieure par kilogramme....	0,0353
Couche inférieure.....................	0,0289
Moyenne..................	0,033

Ce qui fait, en rapportant ces chiffres au poids total de la terre :

	gr.
Azote nitrique total au début...........	0,024
Azote nitrique total à la fin............	0,103

Il y a donc nitrification sensible.

Si l'on ajoutait ce gain de l'azote des nitrates à celui de l'azote organique, qui a été constaté plus haut, le gain total s'élèverait à près de 6 centièmes, au lieu de 4,4. Mais le résultat réel doit être intermédiaire, une portion de l'azote nitrique étant réduite par la matière organique dans les dosages par la chaux sodée.

En tout cas, la fixation de l'azote sous l'influence de l'électricité devient plus manifeste encore d'après ce mode d'évaluation.

81 *a*. Dans une assiette, en opérant comparativement, l'azote initial étant $0^{gr},248$, l'azote final a été trouvé $0^{gr},241$; plus l'azote nitrique.

L'emploi d'une terre en couche mince n'a donc fourni ici que des résultats nuls ou douteux, comme partout ailleurs. Ceci s'accorde avec les observations de la page 465, d'après lesquelles la couche superficielle de la terre du pot ne s'est pas enrichie en azote ; l'enrichissement ayant eu lieu entièrement dans la couche profonde. Il en est ainsi du moins, si l'on néglige la nitrification sensiblement plus active de la surface, et dont l'intervention permettrait de constater, même dans la couche superficielle, un certain gain d'azote.

J'ai donné ces résultats, sans en rien omettre. Leur ensemble paraît favorable à l'opinion qui attribue à l'électricité un certain rôle dans la fixation de l'azote par la terre. Pour préciser davantage, rappelons les doses d'azote fixées dans mes anciennes expériences (p. 414 et suiv.) sur les hydrates de carbone, sous l'influence d'un potentiel de 7 volts environ, mais agissant à une distance de 1 centimètre seulement : ce qui est comparable aux essais présents. Ces doses, rapportées à la surface de 282 c^2, qui est celle des pots actuels, ont été trouvées, au bout de sept mois, égales à $0^{mgr},3$ pour le papier et à $1^{mgr},5$ pour la dextrine, l'un et l'autre ayant des épaisseurs minimes. De telles doses sont trop faibles d'ailleurs pour être constatées dans les conditions des essais nouveaux, que je décris aujourd'hui. Mais l'épaisseur de la terre influencée est plus considérable, ce qui a permis de constater des résultats notables.

Il est probable d'ailleurs que les effets observés sur la terre seule sont dus autant à la vitalité des microbes, rendue plus active par l'électrisation, qu'à la fixation directe de l'azote sur les matières organiques de la terre, par voie purement

électrochimique ; ce qui est conforme aux remarques que j'ai faites plus haut (p. 433). Diverses circonstances, et notamment ce fait que la fixation de l'azote ne s'est guère accomplie que dans la seconde période de plusieurs expériences, sont favorables à une telle opinion ; mais je n'insiste pas sur ce point, les effets étant évidemment complexes.

Voici maintenant les expériences exécutées avec le concours de la végétation, expériences faites dans les pots, naturellement, et dans les mêmes conditions que les précédentes.

II. — Terre et végétaux

On a opéré avec les deux mêmes terres, savoir : la terre N, non saturée d'azote ($1^{gr},218$ par kilogramme), et avec la terre S, à peu près saturée ($1^{gr},702$ par kilogramme) ; on a employé deux espèces végétales différentes, toutes deux appartenant à la famille des Légumineuses, la Vesce et la Jarosse ; enfin, on a toujours mis en œuvre des couples similaires, l'un électrisé, l'autre ne subissant pas d'action électrique. Tous les systèmes étaient placés dans des pots de porcelaine, comme à l'ordinaire.

Voici la liste méthodique des essais :

N° 106.	Terre N ;	Vesce,	air libre,	non électrisé ;	A rapprocher
N° 105.	Terre N ;	Vesce,	air libre,	électrisé.	des nos 107, 108.
N° 82.	Terre S ;	Vesce,	air libre,	non électrisé ;	A rapprocher
N° 85.	Terre S ;	Vesce,	air libre,	électrisé.	des nos 84, 87.
N° 83.	Terre S ;	Jarosse,	air libre,	non électrisé ;	De même.
N° 86.	Terre S ;	Jarosse,	air libre,	électrisé.	
N° 76.	Terre S ;	Vesce,	sous cloche,	non électrisé ;	A rapprocher
N° 79.	Terre S ;	Vesce,	sous cloche,	électrisé.	des nos 78, 81.
N° 77.	Terre S ;	Jarosse,	sous cloche,	non électrisé ;	De même.
N° 80.	Terre S ;	Jarosse,	sous cloche,	électrisé.	

Donnons le détail de toutes ces expériences.

Première série. — *Terre* N *non saturée d'azote* (1gr,218 *par kilogramme sec*).

N° 106. Air libre sous abri. — Pot non électrisé ; ensemencé avec de la graine de Vesce. Pot renfermant 3454 grammes de terre (supposée sèche) et 345 grammes d'eau.

Durée, du 5 juin au 6 août (deux mois).

	gr.
Azote organique initial de la terre............ ...	4,208
Graines de Vesce, pesant 3gr,519 (sec), renfermant : Azote...............................	0,165
	4,373
Azote ammoniacal apporté par l'eau d'arrosage.	0,0037
Somme.......	4,3767
Azote nitrique initial........	0,0335

Le 6 août, les plantes sont en très bon état, couvertes de fleurs et de fruits.

On coupe la plante au niveau du sol ; puis on sépare la terre des racines et l'on dose séparément l'azote, dans chacune de ces portions.

Azote final de la terre, par kilogramme :

	gr.
Premier essai.........................	1,3502
Second essai..........................	1,3705
Moyenne......... ..	1,3603

Azote organique dans la totalité de la terre, et en déduisant du poids de celle-ci 43 grammes pour les cendres des racines : 4gr,6430.

Azote nitrique final, 0gr,0065. Cette faible dose est susceptible d'entrer en compte, ou d'être négligée, sans erreur sensible. Elle montre que les nitrates avaient diminué des cinq sixièmes, par le fait de la végétation, sans avoir pourtant complètement disparu.

La terre, envisagée isolément, avait ainsi gagné 0gr,435 d'azote, ou 12,6 centièmes.

D'autre part, on a trouvé pour les plantes :

	Humides.	A l'état sec.	Renfermant Az.	Cendres de cette portion pour 100.
	gr.	gr.	gr.	
Plantes (partie extérieure)...	31,0	7,0	0,2045	15,2
Racines et débris souterrains.	61,0	47,1	0,1949	89,11
			0,3994	

L'azote de la plante a passé de 0gr,165 à 0gr,3994, c'est-à-dire qu'il est devenu deux fois et demie aussi considérable ; mais cet accroissement a eu lieu principalement par la portion souterraine ; ce qui est digne de remarque (1).

La matière organique a passé simultanément de 3gr,5 environ à 11 grammes ; c'est-à-dire qu'en définitive elle a triplé dans le végétal.

Enfin le gain total du système en azote est facile à évaluer ; car on a à la fin (2) :

	gr.
Azote = 4,643 + 0,399..................	5,042
Azote initial, etc........................	4,377
Gain..............	0,665

c'est à-dire 15 centièmes.

Ces nombres sont du même ordre que ceux que j'ai observés précédemment (3), avec la même espèce de Légumineuses. Ils sont fort supérieurs, comme d'ordinaire, à ceux que l'on observe avec la terre nue (n° 107), laquelle n'a donné que des résultats douteux ; en opérant dans des assiettes, à la vérité.

Voyons maintenant quelle a été l'influenee comparative de l'électricité.

(1) *Voir* ce volume, p. 372, 375, etc.
(2) En négligeant une trace d'azote nitrique.
(3) Ce volume, p. 366.

N° 105. Air libre sous abri. — Pot ensemencé avec de la graine de Vesce.

Électricité. Potentiel aux limites du champ électrique, 33 volts. Pôle positif à la terre.

Pot renfermant 3 454 grammes de terre (sèche) et 345 grammes d'eau.

Durée : du 5 juin au 6 août.

	gr.
Azote organique initial de la terre......	4,208
Graine de Vesce (3gr,51). Azote.........	0,165
	4,373
Eau d'arrosage. Azote ammoniacal.....	0,0037
Azote nitrique initial..................	0,0335

Le 6 août, les plantes sont en bon état; mais elles commencent à se dessécher à la partie inférieure. Fleurs nombreuses et fruits.

On sépare la plante et la terre, comme plus haut (p. 469).

Azote final de la terre. Pour 1 kilogramme sec :

	gr.
Premier essai...	1,4864
Second essai..........................	1,5017
Moyenne.......	1,4941

Azote organique dans la totalité de la terre (en déduisant 4 grammes pour les cendres des racines) : 5gr,154.

Azote nitrique final : 0gr,0225. Il est négligeable, en somme, tout en donnant lieu à des remarques analogues au numéro précédent.

La terre, envisagée isolément, a gagné 0gr,946 d'azote; soit 22,5 centièmes.

D'autre part, on a trouvé dans les plantes :

	Humide.	Sèche.	Azote.
	gr.	gr.	gr.
Plante extérieure au sol (renfermant 19,4 centièmes de cendres).........	2,50	5,20	0,1507
Racines et débris souterrains (renfermant 80,6 centièmes de cendres)....	4,5	3,8	0,0324
Total..............			0,1829

L'azote de la plante s'était à peine accru dans cette expérience; ayant passé seulement de $0^{gr},165$ à $0^{gr},183$.

La partie souterraine, contrairement à ce qui est arrivé dans l'essai précédent, est peu développée.

La matière organique de cette plante, soit $4^{gr},9$, ne surpasse pas de moitié celle de la graine ($3^{gr},5$).

Ces différences ne paraissent pas attribuables à l'électricité, mais à une influence toute différente, l'insuffisance de la lumière, arrêtée en grande partie par les armatures métalliques; le développement de la plante a été dès lors moins avancé que pour le pot non électrisé.

En tout cas, il y a gain à la fois sur la plante et sur la terre, comme dans l'essai précédent.

Le gain total du système s'élève à

$$5^{gr},154 + 0,183 = 5^{gr},337 - 4,373 = 0^{gr},984.$$

soit 22,5 centièmes.

Ce gain est supérieur à celui qui a eu lieu dans le vase non électrisé, et l'écart serait sans doute plus considérable encore, si la lumière avait agi comparativement sur les deux systèmes; le système électrisé étant moins éclairé que l'autre.

On trouve donc ici un contraste analogue à celui des expériences n°s 108, 109 et 110, faites sur la même terre nue.

DEUXIÈME SÉRIE. — *Terre* S. *A peu près saturée d'azote* ($1^{gr},702$ *par kilogramme sec*).

On a opéré avec la Vesce et avec la Jarosse. Les expériences faites avec la Jarosse ont duré deux mois. Mais avec la Vesce, au bout d'un mois, on a été obligé d'arrêter les expériences, parce que les tiges de la plante étaient arrivées à toucher le dôme des cloches, recouvert intérieurement de

feuilles d'étain dans les essais faits avec électrisation. Ces mêmes essais sont exécutés d'ailleurs, comme il a été dit, dans des conditions moins favorables que les autres, parce que les lamelles métalliques qui limitent le champ électrique diminuent considérablement les surfaces par lesquelles pénètre la lumière: les résultats qui suivent n'en paraîtront que plus concluants.

N° 82. Air libre sous abri. — Non électrisé. Pot ensemencé avec des graines de Vesce.

Pot renfermant 3112 grammes de terre (sèche) et 311 gr. d'eau.

Durée de l'expérience : du 18 mai au 13 juin 1889.

	gr.
Azote initial organique.............. ..	5,296
Graines de Vesce (3gr,519). Azote.... ..	0,165
	5,461
Eau d'arrosage. Azote ammoniacal.....	0,00085
	5,462
Azote nitrique initial.	0,0236

Le 13 juin, les plantes étant en bon état, hautes de 0m,20 à 0m,25, on a été obligé d'arrêter l'expérience, à cause du contact établi entre les armatures et la plante dans la culture parallèle exécutée sur la même plante, sous cloche, au milieu d'un champ électrique : il fallait en effet que les résultats des deux essais demeurassent comparables.

On a coupé les plantes au ras du sol, puis on a séparé la terre et les racines. Celles-ci renfermaient quelques tubercules spécifiques, surtout au voisinage du collet.

On a trouvé :

Terre, pour 1 kilogramme sec :

	gr.
Azote organique, premier essai........	1,7802
» second essai.........	1,7955
Moyenne.................	1,7879

ce qui fait pour la totalité (12gr,5 de cendres des plantes déduites): 5gr,475.

Cette terre renfermait :

Azote nitrique final..................	0gr,0289

dose qui diffère à peine de la dose initiale.

Cette terre, envisagée isolément, avait ainsi gagné 0gr,179 d'azote, soit 3,4 centièmes.

D'autre part, on a obtenu :

	Humide.	Sèche.	Contenant azote.
	gr.	gr.	gr.
Plante (cendres : 13,9 centièmes).....	16,05	2,55	0,113
Racines et débris (cendres : 84,1 centièmes)...........................	23,45	15,0	0,0975
			0,2105

La plante a dès lors gagné en azote : 0gr,0455, soit 18 centièmes ; ce qui est peu, la matière organique qui la constitue ayant passé seulement de 3gr,5 à 5gr,9. Il résulte de ces derniers chiffres que la plante était loin d'avoir atteint tout son développement.

Le système total ayant reçu 5gr,462 d'azote, il en contenait à la fin : 5gr,6855.

Gain, 0gr,2135; soit 4 centièmes.

N° 85. Air libre sous abri. — Électrisé. Pot ensemencé avec des graines de Vesce. Potentiel aux limites du champ électrique, 33 volts. Pôle — à la terre.

Pot renfermant 3112 grammes de terre (sèche) et 311 gr. d'eau.

Du 22 mai au 17 juin 1889.

	gr.
Azote organique initial.................	5,296
Graine de Vesce (3gr,519 sec). Azote.....	0,155
	5,471
Eau d'arrosage. Azote ammoniacal......	0,010
	5,471
Acide nitrique...........	0,0236

Le 17 juin, les plantes étaient en bon état, hautes de $0^m,35$ à $0^m,40$. Les racines portaient quelques tubercules spécifiques, surtout au voisinage du collet. On a été obligé d'arrêter à ce moment, comme il a été dit. On a trouvé :

Terre pour 1 kilogramme sec :

	gr.
Azote organique, premier essai...... ...	1,8191
— second essai....	1,8083
Moyenne..................	1,8115

ce qui fait, pour la totalité (7 grammes de cendres des plantes déduites) :

Azote organique......................	$5^{gr},625$

Cette terre renfermait :

Azote nitrique.................. ...	$0^{gr},0435$

au lieu de 0,0236 au début.

La nitrification est sensible; elle coïncide avec un faible développement de la vie végétale.

La terre, envisagée isolément, avait gagné en azote $0^{gr},329$, ou 6,2 centièmes.

D'autre part, on a trouvé :

	Humide.	Sèche.	Contenant azote.
	gr.	gr.	gr.
Plante (cendres : 14,7 centièmes).....	15,3	2,45	0,113
Racines et débris souterrains (cendres : 80,9 centièmes)..............	11,90	8,25	0,061
			0,174

La plante ne gagne que $0^{gr},009$, ou 5 centièmes; sa matière organique, environ $3^{gr},7$: sa dose demeure presque égale au poids du début.

Le système total ayant reçu $5^{gr}462$ d'azote, il en contenait à la fin $5^{gr},799$.

Gain : $0^{gr},338$, soit 6,2 centièmes.

Ce gain a eu lieu principalement sur la terre.

Ainsi, dans ces deux expériences, la vie de la plante ayant été interrompue trop tôt, cette dernière n'avait pas encore fixé d'azote en proportion bien sensible; tandis que la fixation de l'azote était bien marquée sur la terre.

Ceci confirme le fait, déjà observé à diverses reprises (p. 372, 373, 375, 377), que la terre et ses microbes sont, au moins au début de la végétation, le point de départ de la fixation de l'azote, même pour les Légumineuses.

Quant à l'action de l'électricité, on observe ici, comme précédemment, un certain avantage, faible d'ailleurs, pour la terre électrisée.

Venons à la Jarosse, dont la végétation a duré plus longtemps, mais dont le développement est plus lent ; ce qui n'a pas permis de pousser les expériences beaucoup plus loin, celles-ci ayant dû également être arrêtées avant la floraison, pour les mêmes motifs que plus haut (p. 473).

N° 83. Air libre sous abri. — Non électrisé. Pot ensemencé avec des graines de Jarosse.

Le pot renfermait 3112 grammes de terre sèche et 311 grammes d'eau.

Durée : du 18 mai au 23 juillet 1889.

	gr.
Azote organique initial (terre)	5,2960
Graines (4gr,454). Azote	0,1465
	5,4425
Eau d'arrosage. Azote ammoniacal	0,0033
Azote total	5,4458
Azote nitrique initial	0,0236

Le 6 juin, les plantes sont hautes de 12 centimètres à 25 centimètres, pourvues chacune de 4 à 5 feuilles.

Le 23 juillet, plantes en bon état; peu de fleurs. Racines garnies de nombreux tubercules spécifiques.

Terre, pour 1 kilogramme sec :

	gr.
Azote organique final, premier essai...	1,7620
— second essai....	1,7620
Moyenne................	1,7620

Ce qui fait pour la totalité (en déduisant 21 grammes de cendres des plantes) :

Azote................................ 5gr,447

Cette terre renfermait :

Azote nitrique final.................. 0gr,0368

ce qui fait un léger accroissement, par rapport à 0gr,236.

La terre, envisagée isolément, avait gagné 0gr,151 d'azote, soit 2,9 centièmes.

D'autre part, on a trouvé :

	Humide.	Sèche.	Azote.
	gr.	gr.	gr.
Plante extérieure (cendres : 15 centièmes)...........................	18,7	4,3	0,121
Racines et débris souterrains (cendres : 86,4 centièmes).............	31,7	23,9	0.106
Somme............			0,227

L'azote organique n'a que peu augmenté, soit de 0gr,021 ; tandis que la matière organique a passé de 4gr,4 à 7gr,1. Ces nombres montrent que la plante n'avait pas encore pris tout son développement.

Le système total ayant reçu :

Azote organique initial................ 5gr,446

il en contenait à la fin 5gr,682 ; ce qui fait un gain de 0gr,236 ; ou 4,3 centièmes.

Ce gain a eu lieu pour les deux tiers sur la terre et pour un tiers sur la plante.

N° 86. Air libre sous abri. — Électrisé. Potentiel aux limites du champ électrique, 33 volts. Pôle — à la terre.

Pot ensemencé avec Jarosse.

Le pot renfermait 3112 grammes terre sèche, et 311 gr. eau.

Durée : du 22 mai au 23 juillet 1889.

	gr.
Azote organique initial, terre	5,296
Graines (4gr,454). Azote	0,1465
	5,4425
Eau d'arrosage. Azote ammoniacal	0,0033
	5,4458
Azote nitrique initial	0,0236

Le 6 juin, plantes très allongées, hautes de 20 à 24 centimètres, grêles, tiges un peu pâles, pourvues chacune de 4 feuilles.

Elles sont plus longues que celles du n° 82, parce que les armatures les ont obligées à monter davantage pour atteindre les endroits éclairés.

Le 23 juillet, plantes en bon état, sans fleurs. Nombreux tubercules sur les racines.

Terre, pour 1 kilogramme sec :

	gr.
Azote organique, premier essai	1,7930
— second essai	1,7930
Moyenne	1,7930

Ce qui fait pour la totalité (cendres déduites) :

Azote organique 5gr,552

La terre renfermait d'ailleurs :

Azote nitrique final 0gr,0395

La terre, envisagée isolément, avait gagné 0gr,256 d'azote; soit 4,8 centièmes.

D'autre part

	Humide.	Sèche.	Azote.
	gr.	gr.	gr.
Plante extérieure (cendres : 13,4 centièmes)	32,7	4,3	0,1555
Racines et débris souterrains (cendres : 90 centièmes)	26,6	17,8	0,0795
Somme			0,2250

Le gain de la plante en azote est 0gr,0795 ; c'est-à-dire faible.

De même la matière organique a peu gagné, ayant passé de 4gr,4 à 5gr,5 environ.

Le système total, ayant reçu :

Azote initial 5gr,446

en contenait à la fin 5gr,777.

Gain : 0gr,331 ; ou 6,1 centièmes.

Ce gain a eu lieu principalement par la terre, conformément aux remarques de la page 476.

Venons aux couples d'expériences faites sous cloche, simultanément avec les précédentes.

N° 76. *Terre S.* — Sous cloche. Non électrisé. Pot ensemencé avec Vesce.

Chaque jour on a fait passer 150 litres d'air lavé dans la cloche et 1 litre d'acide carbonique gazeux, et l'on a arrosé de temps en temps, principalement à l'aide d'un pulvérisateur.

Durée : du 18 mai au 13 juin 1889.

Le pot renferme 3112 grammes terre sèche, et 311 grammes eau.

	gr.
Azote organique initial, terre	5,296
Graines de Vesce (3gr,519). Azote	0,165
	5,461
Eau d'arrosage. Azote ammoniacal	0,0007
	5,4617
Azote nitrique initial	0,0236

Le 13 juin, plantes en bon état, moins développées qu'à l'air libre, hautes de 25 à 30 centimètres. Tubercules des racines assez rares, voisins du collet.

Terre, pour 1 kilogramme sec :

	gr.
Azote, premier essai	1,8241
» second essai	1,8089
Moyenne	1,8165

Ce qui fait pour la terre totale (9 grammes de cendres des plantes déduits) :

Azote final 5gr,636

On a trouvé aussi :

Azote nitrique final 0gr,0294

ce qui représente une variation insignifiante.

La terre, envisagée isolément, avait gagné 0gr,340 ; soit 6,4 centièmes.

D'autre part, on a trouvé :

	Humide.	Sèche.	Azote.
	gr.	gr.	gr.
Plante extérieure (cendres : 8,6 centièmes)	12,7	2,35	0,086
Racines et débris souterrains (cendres : 78,3 centièmes	25,65	11,55	0.106
Somme			0,192

La plante a donc gagné en azote, seulement 0gr,027.

Sa matière organique est restée à peu près stationnaire (de 4gr,4 à 4gr5,).

Il y a en outre à mettre en compte 390 centimètres cubes d'eau de condensation, recueillis dans le cours de l'expérience et renfermant :

Azote combiné. 0gr,0007

Le système total, ayant reçu :

Azote	5gr,446

en contenait à la fin 5gr,829

Gain, 0gr,383; soit 7 centièmes.

Ce gain a porté presque entièrement sur la terre.

N° 79. *Terre S.* — Sous cloche. Électrisé, 33 volts. Pôle à la terre.

On ensemence avec la Vesce.

Vase aéré, pourvu d'acide carbonique, arrosé comme le précédent.

Du 18 mai au 13 juin. Au début : 3 112 grammes de terre sèche et 311 grammes eau.

	gr.
Azote organique initial	5,296
Azote des graines	0,165
	5,461
Eau d'arrosage. Azote ammoniacal	0,0074
	5,4617
Azote nitrique initial	0,0236

Le 13 juin, plantes en bon état, hautes de 40 à 45 centimètres. Quelques tubercules spécifiques sur les racines.

Terre, pour 1 kilogramme sec :

Azote, premier essai	1,7778
— second essai	1,7931
Moyenne	1,787

Ce qui fait pour la terre totale (33 grammes de cendres déduits) :

Azote organique	5gr,500

On a trouvé encore :

Azote nitrique final	0gr,0329

ce qui représente une variation faible de cette forme de l'azote.

La terre, envisagée isolément, avait gagné $0^{gr},20[illegible]$ d'azote ; ou 3,9 centièmes.

On a trouvé :

	Humide.	Sèche.	Azote
Plante extérieure (cendres : 15 centièmes)	gr. 23,9	gr. 2,8	gr. 0,1[illegible]
Racines et débris (cendres : [illegible] centièmes)	[illegible]4,3	[illegible],75	0,1[illegible]
Somme			0,23[illegible]

Il y a seulement gain de moitié sur l'azote des graines. La matière organique a passé de $3^{gr},5$ à $5^{gr},4$.

Le système total, ayant reçu :

Azote.................................. $5^{gr},4[illegible]$

en contenait à la fin..... .... $5^{gr},735$

Gain, $0^{gr},273$ ou 5 centièmes.

Ce gain a porté en majeure partie sur la terre. Il est un peu moindre que celui du n° 76, non électrisé ; probablement à cause de l'insuffisance de l'éclairage.

N° 77. *Terre S.* — Sous cloche. Non électrisé. Pot ensemencé avec Jarosse. Aération, arrosage, etc., comme les précédents.

Du 18 mai au 23 juillet 1889. 3112 grammes terre sèche, plus 311 grammes eau.

	gr.
Azote organique initial, terre..........	5,296
Azote de la graine ($4^{gr},454$)......	0,1465
	5,4425
Eau d'arrosage azote ammoniacal......	0,0025
	5,445
Azote nitrique initial.................	0,0236

Le 6 juin, les plantes sont encore peu développées, hautes

de 8 centimètres pour la plupart et pourvues de 3 feuilles.

Le 23 juillet, plantes en assez bon état, sans fleurs, un peu molles. Nombreux tubercules sur les racines.

Terre, pour 1 kilogramme sec :

	gr.
Azote organique, premier essai.........	1,699
— second essai...........	1,699
Moyenne..................	1,699

soit pour la totalité (11gr,5 cendres déduits) :

Azote organique...................... 5gr,270

On a trouvé aussi :

Azote nitrique final.................. 0gr,0219

variation insignifiante.

La terre, isolément, avait perdu cette fois 0gr,026, c'est-à-dire un demi-centième : ce qui est dans la limite des erreurs.

	Humide.	Sèche.	Azote.
	gr.	gr.	gr.
Plante extérieure (cendres : 12,5 centièmes)............................	39,2	6,5	0,1552
Racines et débris (cendres : 79,2 centièmes)...........................	21,2	13,4	0,1059
Somme............................			0,1712

Le gain est 0gr,025, c'est-à-dire insignifiant ; quoique la matière organique ait plus que doublé (10gr,3 au lieu de 4gr,4).

L'eau de condensation, soit 1960 grammes, renferme :

Azote............................... 0gr,0027

Le système total contenait au début :

Azote organique...................... 5gr,445

à la fin :

Azote organique...................... 5gr,441

Le gain est donc nul, ainsi que la perte.

N° 80. *Terre S.* — Sous cloche. Électrisé (33 volts aux limites du champ électrique). Pot ensemencé avec Jarosse. Aération, etc., comme ci-dessus.

Du 18 mai au 23 juillet 1889. 3112 grammes de terre sèche, plus 311 grammes eau.

	gr.
Azote organique initial, terre.	5,296
Azote de la graine (4gr,45)..	0,1465
	5,4425
Eau d'arrosage, azote ammoniacal.. ..	0,0025
	5,445
Azote nitrique initial............... ..	0,0236

Le 6 juin, les plantes ont poussé de longues tiges grêles, deux fois aussi longues que dans le pot 77, un peu pâles, portant chacune 4 ou 5 feuilles.

Le 23 juillet, plantes peu vigoureuses, commençant à se dessécher. Peu de fleurs. Quelques tubercules sur les racines peu abondantes. Moisissures sur le sol. La lumière avait fait défaut.

Terre, pour 1 kilogramme sec :

	gr.
Azote organique, premier essai...	1,8398
— second essai.........	1,8243
Moyenne...	1,8320

Ce qui fait pour la totalité (2 grammes cendres déduits) :

Azote organique. 5gr,697

On a trouvé aussi :

Azote nitrique final.............. ... 0gr,0925

au lieu de 0gr,0236.

La nitrification a donc été active, la végétation n'ayant pas

détruit les nitrates à mesure. Elle a eu lieu d'ailleurs malgré les moisissures blanches du sol.

La terre, prise isolément, en négligeant le gain des nitrates, a gagné 0gr,401 d'azote, soit 7,6 centièmes.

	Humide.	Sèche.	Azote.
	gr.	gr.	gr.
Plante extérieure (cendres : 19,8 centièmes)	15,5	3,2	0,1028
Racines et débris (cendres : 71,4 centièmes)	2,5	1,8	0,0238
Somme			0,1267

Cette fois, la plante renferme moins d'azote (0gr,020) que la graine, et l'action des racines ne s'est guère exercée.

La matière organique dans la plante a baissé également de 4gr,4 à 3gr,1.

Enfin les eaux de condensation (1700 grammes) sont plus riches que d'ordinaire en azote : 0gr,0127 ; ce qui accuse le travail des agents de décomposition organique.

Cependant le système total a gagné ; car son azote a été porté de 5gr,445 à 5gr,837.

Gain, 0gr,392, ou 7,2 centièmes.

Ce gain manifeste à la fois l'influence de l'électricité et celle des microbes de la terre pour fixer l'azote ; la plante n'ayant pas eu de rôle cette fois, à cause de son développement imparfait, faute de lumière.

En résumé, les gains avec la terre S ont été constatés dans tous les cas ; quoique faiblement, la terre étant voisine de la saturation. Dans tous les cas aussi, sauf un, le pot électrisé a fixé plus d'azote que l'autre.

Les Tableaux suivants résument les résultats observés, tant sur la terre nue que sur la terre garnie de végétaux.

Tableau I. — *Absorption de l'azote par la terre nue, avec le concours de l'électricité.*

Durée, neuf semaines.

Terre	Conditions.			Gain relatif d'azote.
Terre N (non saturée d'azote $1^{gr},218$ pour 1 kg. sec) (1).	Air libre sous abri transparent.	Non électrisée (107)		Nul sensiblement.
		Électrisée (33 volts) (108)		Nul sensiblement.
	Sous une cloche de 50 litres.	Non électrisée (111)		Nul sensiblement.
		Électrisée. Potentiel (33 volts) (109)		4,4 centièmes.
		» » (132 volts) (110)		6,1 centièmes.
Terre S (presque saturée d'azote $1^{gr},702$ pour 1 kg.) (2).	Air libre sous abri transparent.	Non électrisée (84)		2,2 centièmes.
		Électrisée (35 volts) (87)		3,6 centièmes.
	Sous une cloche de 50 litres.	Non électrisée (78)	Au bout d'un mois	Nul sensiblement.
			Au bout de 9 semaines	2,8 centièmes.
		Électrisée (30 volts) (81)	Au bout d'un mois	Nul sensiblement.
			Au bout de 9 semaines	4,4 centièmes.

(1) Les expériences faites avec cette terre ont été exécutées dans des assiettes sur une couche mince : ce qui est une condition défavorable.

(2) Les expériences faites avec cette terre ont été exécutées dans des pots, sur une profondeur de 18 centimètres environ.

TABLEAU II. — *Absorption de l'azote avec le concours de la végétation.*

(Cf. ce Recueil, 6e série, t. XVI, p. 626 à 633.) — On a opéré sur 3 kilogrammes de terre chaque fois.

	Plantes.	Conditions.		Durée de l'expérience.	Gain total d'azote. En poids.	Gain total d'azote. En centièmes.	Gain de la terre. En poids.	Gain de la terre. En centièmes.	Gain de la plante. En poids.	Gain de la plante. En centièmes.	Parties aérienne, souterraine.
Terre N (non saturée d'azote 1gr,218 pour 1 kg. sec).	Vesce.	Air libre sous abri transparent.	Non électrisée (106)....	2 mois.	gr. 0,665	15,0	gr. 0,435	12,6	gr. 0,234	142	p. a. 72 p. s. 70
			Électrisée (33 volts) (105).	2 mois.	0,984	22,5	0,946	22,5	0,018	11	p. a. 9 p. s. 2
Terre S (à peu près saturée d'azote 1gr,702 pour 1 kg. sec).	Vesce.	Air libre sous abri transparent.	Non électrisée (82).....	1 mois.	0,2135	4,0	0,179	3,4	0,0455	18	p. a. 10 p. s. 8
			Électrisée (33 volts) (85).	1 mois.	0,338	6,2	0,329	6,2	0,009	5	p. a. 3 p. s. 2
		Sous une cloche de 50 litres.	Non électrisée (76).....	1 mois.	0,383	7,0	0,340	6,4	0,027	19	p. a. 9 p. s. 10
			Électrisée (33 volts) (79).	1 mois.	0,273	5,0	0,204	3,9	0,070	41	p. a. 22 p. s. 19
	Jarosse.	Air libre sous abri transparent.	Non électrisée (83).....	9 semaines.	0,236	4,3	0,151	2,9	0,081	55	p. a. 30 p. s. 25
			Électrisée (86).........	9 semaines.	0,331	6,1	0,256	4,8	0,079	54	p. a. 37 p. s. 17
		Sous une cloche de 50 litres.	Non électrisée (77).....	9 semaines.	−0,004	nul	−0,026	−0,5	0,025	17	p. a. 10 p. s. 7
			Électrisée (80).........	9 semaines.	0,392	7,2	0,401	7,6	−0,020	13 —	p. a. —11 p. s. — 2

En résumé, les gains d'azote opérés sous l'influence de la végétation ont été constamment plus forts avec les vases électrisés qu'avec les vases non électrisés, et cela sous cloche aussi bien qu'à l'air libre, et malgré l'infériorité causée par l'inégalité d'éclairage des vases électrisés. Ces effets ont été obtenus avec des vases placés dans un champ électrique. dont l'action était assimilable à celle de l'électricité atmosphérique.

La même conclusion résulte des essais exécutés sur la terre nue, je veux dire pourvue de ses microbes, mais exempte de végétaux supérieurs.

L'ensemble de ces résultats parait donc rendre très vraisemblable une action propre de l'électricité pour activer la fixation de l'azote, à la fois sur la terre et dans le cours de la végétation.

LIVRE III

CHAPITRE UNIQUE

FIXATION DE L'AZOTE DANS LES OXYDATIONS LENTES

En poursuivant mes expériences sur la fixation de l'azote par la terre et les végétaux, je me suis demandé si l'origine de cette fixation ne devrait pas être cherchée plus loin et dans des procédés purement chimiques : je veux dire si elle ne pourrait pas avoir lieu à froid, pendant le cours des réactions de certains principes immédiats fabriqués par les microbes : par exemple de l'ordre des principes qui donnent naissance à ces oxydes intermédiaires, doués de propriétés mixtes, à la fois oxydants et oxydables, qui fixent l'oxygène libre d'une manière transitoire, pour le transmettre ensuite, et cela d'une façon presque indéfinie, à d'autres corps susceptibles d'une oxydation définitive. Tels sont l'éther ordinaire, l'essence de térébenthine (1), divers carbures aromatiques (2), l'acide oléique, certains aldéhydes, etc. : tous ces corps sont capables d'oxyder l'indigo, de blanchir les matières colorantes, etc. ; en un mot, de produire ces effets que Schœnbein, qui en avait découvert quelques-uns, attribuait à l'ozone.

(1) Voir mon Mémoire : *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. LVIII, 1860, p. 425 et 446, et t. III du présent ouvrage.

(2) Même Recueil, 5e série, t. XII, 1867, p. 154, et t. III du présent ouvrage.

L'azote libre peut être soumis à l'influence de semblables principes, seuls ou rendus plus actifs par un concours d'énergies résultant de leur oxydation; et l'on est autorisé à se demander s'il n'acquiert pas dans ces conditions quelque aptitude à entrer en combinaison, ainsi qu'il le fait en présence des métaux alcalins, dans la formation des azotures et des cyanures : cela même dès la température ordinaire, comme avec le lithium. Voici les essais que j'ai tentés dans cette direction : ils fournissent une première indication, qui sera sans doute poursuivie.

I. En fait, si l'on examine un échantillon de vieil éther, conservé dans des flacons clos, incomplètement remplis, pendant plusieurs mois ou plusieurs années, il est facile de constater, — le fait est bien connu, — que cet éther possède des propriétés oxydantes, à l'égard de l'iodure de potassium, par exemple. Si on l'agite avec de l'eau, cette eau se charge d'eau oxygénée, reconnaissable ensuite par l'action d'une trace d'acide chromique, qui développe la coloration bleue de l'acide perchromique, isolable lui-même par l'éther. Mais cette eau oxygénée ne préexiste pas dans l'éther anhydre. Elle dérive, comme je l'ai prouvé, d'un autre principe, le peroxyde d'éthyle

$$C^8H^{20}O^3 = 2C^4H^{10}O + O^2,$$

composé que j'ai isolé, après l'avoir préparé par l'action directe et immédiate de l'ozone (1), et dont j'ai étudié les réactions. L'oxygène ordinaire l'engendre également, mais beaucoup plus lentement.

II. Ce n'est pas le seul produit que l'on puisse dériver de l'éther oxydé, sous les influences de l'air et de la lumière. En

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, 5e série, t. XXVII, 1882, p. 229.

effet, agitons un tel éther avec une petite quantité d'eau de chaux, *absolument exempte de nitrates* (1), et évaporons à sec cette eau avec précaution; le résidu sera repris par quelques gouttes d'eau et évaporé de nouveau. Lorsqu'on le met alors en contact, délicatement, avec quelques gouttes d'acide sulfurique concentré et qui a été mélangé à l'avance de sulfate ferreux en poudre, on voit se développer de la façon la plus nette la coloration rosée, si caractéristique de l'acide nitrique.

Avec ce dernier produit d'évaporation, on obtient aussi la coloration bleue de la diphénylamine. Mais cette dernière coloration n'est nullement spécifique, et son emploi est sujet à des erreurs, contre lesquelles les physiologistes ne sont peut-être pas toujours suffisamment prémunis. En effet la coloration bleue dont il s'agit se produit avec un grand nombre de corps oxydants, et même avec l'eau oxygénée, quoique faiblement dans ce dernier cas.

On obtient d'ailleurs la coloration bleue de la diphénylamine avec les eaux de lavage de l'éther oxydé, après évaporation au bain-marie ; on l'obtient, dis-je, avec une telle intensité, qu'on ne saurait attribuer celle-ci uniquement aux traces d'acide nitrique, décelables dans la même matière par le sulfate ferreux. En raison de cette différence, il me paraît probable qu'il existe dans les eaux de lavage de l'éther oxydé un troisième principe oxydant, autre que l'eau oxygénée et l'acide nitrique ; mais je ne possédais pas de données suffisantes pour m'attacher davantage à sa recherche.

(1) Ce résultat ne peut être obtenu avec pleine sécurité que si l'on prépare la chaux pure, par la calcination de l'oxalate de chaux, précipité lui-même dans une liqueur exempte de nitrates. A la vérité, la chaux vive du commerce en est parfois exempte; mais souvent elle en renferme, et dans ce cas, ils ne peuvent être éliminés entièrement par lavage, en raison de l'existence d'un nitrate basique de chaux presque insoluble.

III. J'ai répété ces essais avec de l'éther neuf, bien lavé au moyen de l'eau pure et acide avec de l'eau de chaux, puis purifié et rectifié ; bref, aussi pur que j'ai pu le préparer.

25 centimètres cubes de cet éther ont été abandonnés dans un flacon d'un litre, avec 25 centimètres cubes d'eau pure, du 17 juillet au 26 octobre 1888. Au bout de ce temps, on a séparé l'eau de l'éther, par décantation, au moyen d'un tube à robinet. Cette eau, additionnée d'un peu d'eau de chaux, a été placée dans une capsule, sous une petite cloche, au-dessous d'un vase renfermant 2 centimètres cubes d'une liqueur titrée d'acide sulfurique (2gr,0267 de SO^3 au litre) : on se proprosait d'y rechercher et d'y titrer l'ammoniaque.

Mais la proportion de cet alcali a été trouvée absolument nulle, à 1/20 de milligramme près.

Dans la même eau, neutralisée ainsi par la chaux, on a cherché ensuite l'acide nitrique, en évaporant à sec au bain-marie la liqueur préalablement filtrée ; on en a trouvé en effet une trace, telle qu'un dixième de milligramme : dose parfaitement sensible d'ailleurs, le réactif ferreux accusant jusqu'à 1/100 de milligramme.

Enfin, après avoir séparé de l'eau, par décantation, l'éther précédent, on en a fait passer les vapeurs à travers une colonne de chaux sodée, portée au rouge, afin d'y rechercher l'azote combiné. On avait pris soin de placer à l'avance quelques fragments de chaux sodée dans la petite cornue qui contenait l'éther, et au sein de laquelle se produisait sa vaporisation. Après évaporation totale du contenu de la cornue, on a donné un coup de feu, de façon à rougir le fond du vase et à détruire, en présence de la chaux sodée, toute matière fixe azotée qui aurait pu s'y trouver retenue. Les gaz et vapeurs développés par ces opérations,

au sortir de la colonne de chaux sodée, traversaient un tube à boule, contenant de l'acide sulfurique titré et très étendu.

En suivant cette marche, on a trouvé avec les 25 centimètres cubes de l'éther précédent, $0^{mgr},06$ d'ammoniaque, supposée produite sous l'influence de la chaux sodée. Cette dose est négligeable, car elle répond à peu près aux limites d'erreur du procédé : limites trouvées égales à $0^{mgr},05$, dans des essais comparatifs, faits à blanc.

IV. Les expériences sur l'éther que je viens de décrire ont été reproduites encore une fois, pendant le printemps de 1889 ; toujours avec le même résultat positif, en ce qui touche l'acide nitrique, constaté au moyen du sulfate ferreux.

V. Une autre expérience semblable, faite en 1888 avec 25 centimètres cubes du même échantillon d'éther, conservé en vase clos en présence de l'eau de chaux pendant trois mois, — au lieu de l'être en présence de l'eau pure, — a fourni également les mêmes résultats, c'est-à-dire une petite quantité d'acide nitrique.

VI. J'ai encore opéré d'une autre façon : j'ai pris 50 centimètres cubes d'éther pur et j'y ai fait passer bulle à bulle, pendant une semaine, à la température ordinaire, 100 litres d'air, purifié lui-même avec le plus grand soin de toute vapeur acide ou alcaline. Au sortir de l'éther, les gaz froids traversaient de l'eau de chaux absolument pure. J'ai obtenu une trace de nitrate dans celle-ci.

Ainsi l'éther, en s'oxydant lentement à la température ordinaire, détermine l'oxydation d'une trace de l'azote libre, contenu dans l'air atmosphérique.

Le succès des expériences faites dans des flacons clos ne laisse aucun doute sur l'origine réelle de l'acide nitrique ainsi formé, quelque faible qu'en soit la dose. Le phé-

nomène est comparable, soit à l'oxydation lente du phosphore, soit à l'action de l'effluve électrique sur l'air : lesquelles réactions fournissent, l'une et l'autre et à la fois, de l'ozone et un peu d'acide nitrique (ou nitreux). Ces circonstances, méconnues à l'origine, avaient donné lieu à une erreur, en faisant supposer que l'ozone une fois formé pouvait oxyder ensuite l'azote libre en présence des alcalis. Or, d'après mes observations, l'ozone absolument exempt de vapeurs nitreuses n'oxyde pas l'azote. (*Annales de Chimie et de Physique*, 5e série, t. XII, p. 442; 1877. Voir encore le tome III du présent ouvrage.)

Au contraire, l'oxydation de l'azote a lieu réellement à froid, en même temps que l'oxydation du phosphore, et pendant que celui-ci produit de l'ozone. Elle a lieu aussi en même temps que le changement de l'oxygène libre en ozone, sous l'influence de forts effluves électriques. Enfin je viens de montrer qu'elle a lieu en même temps que l'oxydation de l'éther, lorsque celle-ci produit du peroxyde d'éthyle. Mais les doses d'acide nitrique ainsi formé sont extrêmement faibles.

VII. J'ai cherché si l'oxydation de l'essence de térébenthine (tout récemment rectifiée) détermine la fixation de l'azote sous forme de nitrates. Mais, dans ce cas, je n'ai pu arriver à une certitude, faute de pouvoir recourir aux réactions colorantes, caractéristiques de l'acide nitrique. En effet, les produits solubles dans l'eau que fournit l'oxydation de l'essence, développent au contact de l'acide sulfurique concentré une coloration jaune intense, qui masque tout. Tout ce que j'ai pu vérifier, c'est qu'il ne s'est pas formé d'ammoniaque libre pendant l'oxydation spontanée de l'essence de térébenthine, d'après un essai semblable à celui que j'ai décrit plus haut pour l'éther (III). J'ai également recher-

ché si cette essence oxydée retenait de l'azote combiné sous forme organique, en opérant comme avec l'éther (III). En fait, avec 25 grammes d'essence, la dose de l'azote organique a été trouvée (par l'action de la chaux sodée au rouge) voisine de $0^{mgr},2$; c'est-à-dire que la fixation était douteuse, l'essence rectifiée récemment en fournissant à peu près autant.

VIII. Mêmes difficultés avec le mésitylène, avec l'essence d'amandes amères (1) et avec l'acide oléique. En tout cas, l'acide nitrique, s'il se forme dans l'oxydation de ces substances, ne surpasserait pas la faible dose observée avec l'éther.

IX. A cette occasion, j'ai soumis à un nouvel examen l'oxydation lente du fer en présence de l'eau et de l'air, en vase clos, pour vérifier s'il y a fixation de l'azote sous forme d'ammoniaque pendant cette oxydation : opinion tour à tour affirmée et réfutée par divers observateurs.

$2^{gr},70$ de fil de clavecin et 10 centimètres cubes d'eau pure ont été abandonnés dans un flacon de 2 litres, hermétiquement clos, de façon à se mettre à l'abri des gaz de l'atmosphère illimitée ; du 19 mai au 9 juillet. Le liquide a été traité par un alcali et distillé, les produits étant condensés dans une solution titrée d'acide sulfurique étendu ; on a obtenu : $AzH^3 = 0^{mgr},16$.

$4^{gr},05$ du même fil, abandonnés de même et simultanément dans un autre flacon clos, avec 50 centimètres cubes d'eau et 1 gramme de chlorure de sodium, condition où l'oxydation est plus active, ont fourni : $AzH^3 = 0^{mgr},6$.

Craignant que ces traces d'ammoniaque ne fussent dues à quelque impureté superficielle, j'ai changé l'eau et j'ai versé encore, dans le même flacon, sur ce qui restait du second échantillon de fer, 50 centimètres cubes d'eau pure

(1) Celle-ci retient, à l'état normal, après purification méthodique, quelques dix-millièmes d'azote combiné. De même l'acide oléique.

et 1 gramme de chlorure de sodium. Cette fois j'ai obtenu : $AzH^3 = 0^{mgr},3$.

Ces doses sont trop minimes pour qu'il soit permis d'en conclure qu'il y a formation d'ammoniaque aux dépens de l'azote libre, pendant l'oxydation du fer humide. Le doute est d'autant plus permis que le fer renferme d'ordinaire des traces d'azote combiné, lesquelles ont pu fournir pour leur propre compte les traces d'ammoniaque signalées par les essais précédents.

X. Enfin, guidé par certaines analogies entre les réactions produites par la lumière et les réactions déterminées par l'effluve électrique, j'ai cru utile de rechercher si la radiation solaire directe pourrait déterminer la fixation de l'azote sur le sulfure de carbone, à l'instar de l'effluve.

Je rappellerai d'abord que le sulfure de carbone seul est altéré par la lumière, avec production de produits condensés ; et que cette altération, en présence de l'oxygène, est accompagnée par une oxydation.

Voici les résultats observés, en présence de l'azote, pur ou mêlé d'oxygène, dans des vases scellés à la lampe.

(1) Ballon plein d'air : $2^{lit},5$ environ. Sulfure de carbone : $10^{gr},60$. Une année d'exposition au soleil. Il se forme un sous-sulfure brun insoluble, qui a été rassemblé au moyen d'un flocon de coton, bien pur et pesé. On a obtenu :

	gr
Par la chaux sodée. Azote	0,00083
Azote de la chaux pilée et du colori	0,00035
C'est-à-dire après correction faite : Azote fixé.	0,00048

(2) Ballon semblable. Sulfure de carbone $9^{gr},05$. Eau 1 gramme. On a trouvé (corrections faites).

	gr.
Azote contenu dans le sous-sulfure insoluble, etc....	0,00044
Azote du liquide aqueux	0,00065
Azote total fixé	0,00109

(3) Ballon de 250 centimètres cubes, rempli d'azote pur. Sulfure de carbone : $0^{gr},992$.

Azote fixé (après correction)......... $0^{gr},00071$

(4) Ballon de $2^{lit},5$; rempli d'air. Thiophène : 1,93. Eau : 0,50.

Azote fixé............................ $0^{gr},0000$

(5). Ballon de $2^{lit},5$ rempli d'air. Benzine : 1,824. Eau : 0,50.

Azote fixé............................ $0^{gr},0002$

Les chiffres obtenus avec la benzine et le thiophène peuvent être regardés comme nuls; ce qui sert de contrôle aux valeurs observées avec le sulfure de carbone.

Ces résultats concordent avec ceux fournis par l'oxydation de l'éther à la température ordinaire. Toutefois les poids d'azote ainsi fixés sont extrêmement faibles.

En résumé, les faits qui viennent d'être exposés, montrent que l'azote entre en combinaison dès la température ordinaire dans le cours de diverses réactions lentes, engendrant des produits complexes ou polymérisés, et spécialement dans le cours d'un grand nombre d'oxydations.

A la vérité, d'après les exemples connus, l'azote devient ainsi actif en petites quantités seulement et par une sorte d'entraînement; précisément comme il le fait à haute température, dans les combustions vives de l'hydrogène et des corps hydrocarbonés. Mais l'électricité silencieuse détermine à froid de semblables actions d'une façon universelle, et

bien plus intense, entre les principes organiques et l'azote: j'ai découvert et démontré son intervention dans la fixation de l'azote atmosphérique par cette électricité. J'ai constaté également que de semblables fixations d'azote sont déterminées par les microbes. De là un rapprochement fort remarquable entre les fixations d'oxygène déterminées, soit par les réactions chimiques pures, soit par l'électricité, soit enfin par certains microrganismes, et les fixations d'azote déterminées pareillement sous ces trois ordres d'influences. On est ainsi conduit à se demander si l'action des microbes ne s'exercerait pas, dans un cas comme dans l'autre, par l'intermédiaire de certains composés organiques complexes, assimilables à ces composés appelés ferments solubles, oxydases, etc. De tels composés paraissent agir en vertu d'un double rôle et déterminer les oxydations et les hydratations, parce qu'ils se combinent d'abord eux-mêmes à l'eau, ou à l'oxygène, pour les transmettre, par une nouvelle combinaison, aux corps qui éprouvent, soit les hydratations, soit les oxydations. Les ferments solubles ne sauraient être envisagés que comme de tels principes définis, de l'ordre de ces composés minéraux qui déterminent, en s'oxydant et se désoxydant tour à tour et d'une façon indéfinie, la décomposition illimitée de l'eau oxygénée, en présence de l'oxyde d'argent (1); ou bien encore la transformation illimitée du cuivre en protoxyde, en présence de l'air et d'une trace de chlorure alcalin (2).

En résumé, les microbes fixateurs d'azote, agissant sous des poids extrêmement petits pour provoquer l'entrée en combinaison progressive de poids d'azote très considérables, opéreraient par un procédé purement chimique; ils fabri-

(1) *Annales de Phys. et de Ch.*, 5e s., t. XXI, p. 164; 7e s., t. IV, p. 430.
(2) Même recueil, 7e s., t. IV, p. 552.

queraient des principes susceptibles de s'unir d'abord à l'azote de l'air, composés intermédiaires susceptibles de transmettre cet élément soit aux corps contenus dans la terre végétale, soit aux matières hydrocarbonées, telles que le sucre ou l'acide tartrique, réputées propres à servir d'aliments aux microrganismes. Par là on ramènerait à des notions purement chimiques les actions de tous ces êtres microscopiques, qui jouent un rôle si grand, sinon universel, dans la nutrition et l'évolution des êtres organisés.



TABLE ANALYTIQUE DES MATIÈRES

LIVRE II

Fixation continue de l'azote libre sur les composés organiques et sur les végétaux, sous l'influence de l'électricité atmosphérique à faible tension.

LIVRE III

3930-98. — Corbeil. Imprimerie Éd. Crété.

A LA MÊME LIBRAIRIE

Traité de chimie agricole. *Développement des végétaux. Terre arable. Amendements et engrais*, par P.-P. Dehérain, membre de l'Institut, professeur au Muséum d'histoire naturelle et à l'École d'Agriculture de Grignon. 1 vol. gr. in-8 avec figures dans le texte.. 16 fr.

Notions de chimie agricole, par Th. Schlœsing fils, ingénieur des manufactures de l'État. *Deuxième édition*. 1 vol. petit in-8 de l'*Encyclopédie des Aide-Mémoire*.................................... 2 fr. 50

Analyse des engrais, par L. L'Hôte, chimiste-expert près les tribunaux. 1 vol. petit in-8 de l'*Encyclopédie des Aide-Mémoire*.... 2 fr. 50

Les résidus industriels employés comme engrais, par Albert Larbalétrier, professeur de chimie agricole à l'École d'Agriculture du Pas-de-Calais. I. *Industries minérales et animales*. — II. *Industries végétales*. 2 volumes petit in-8 de l'*Encyclopédie des Aide-Mémoire*, chacun.. 2 fr. 50

Les Tourteaux de graines oléagineuses comme aliments et engrais, par Alb. Larbalétrier. 1 vol. petit in-8 de l'*Encyclopédie des Aide-Mémoire*.. 2 fr. 50

Annales agronomiques, publiées depuis 1875 sous les auspices du ministère de l'Agriculture et du Commerce (direction de l'Agriculture), par P.-P. Dehérain, professeur de physiologie végétale au Muséum d'histoire naturelle et de chimie agricole à l'École d'agriculture de Grignon, membre de l'Institut. Paraissant le 25 de chaque mois. Abonnement annuel : France, 18 fr. ; Union postale, 21 fr.

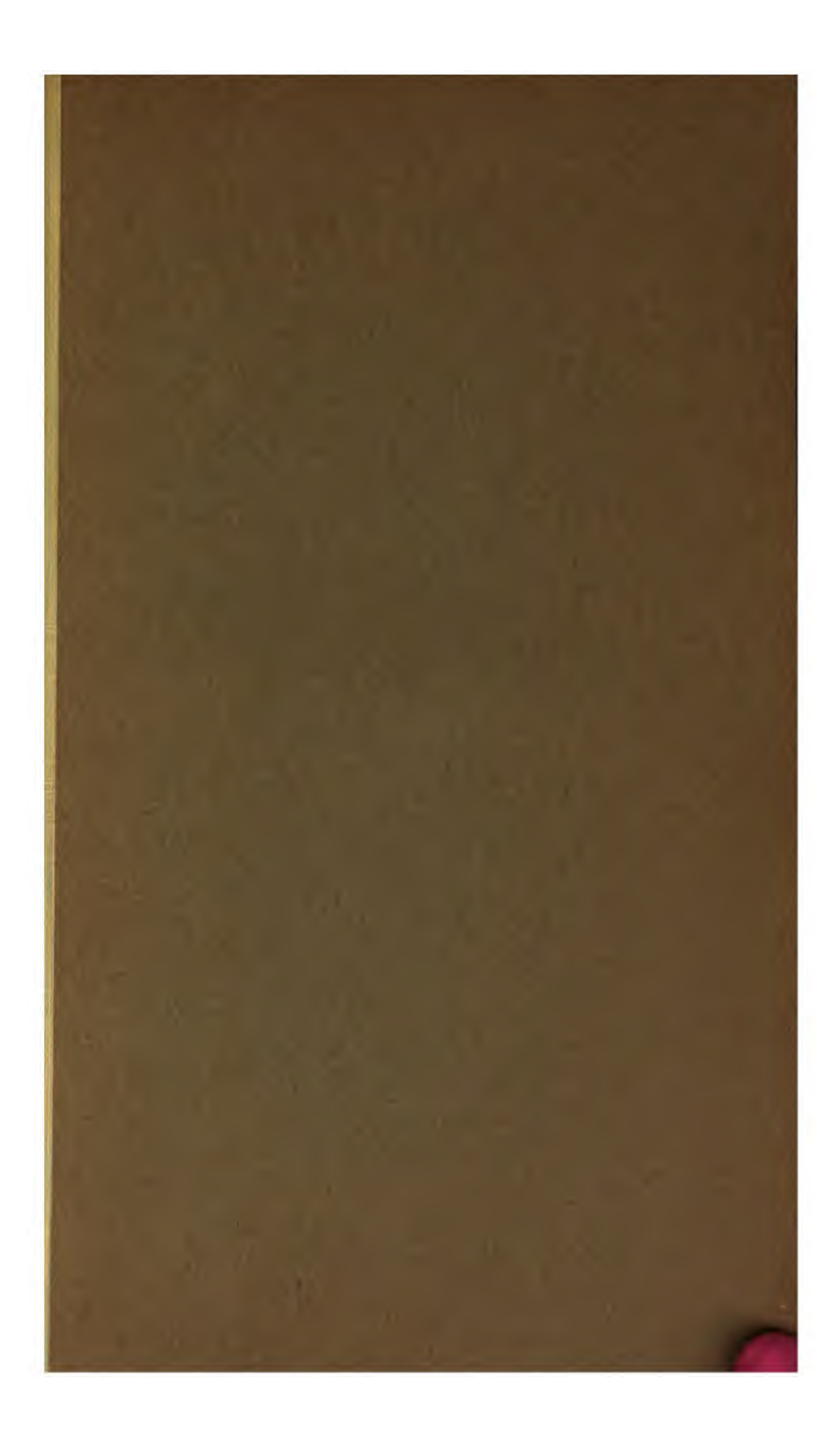
Journal de l'agriculture, de la ferme et des maisons de campagne, de l'économie rurale et de l'horticulture, fondé par J. A. Barral, rédacteur en chef : Henry Sagnier. Paraissant le samedi de chaque semaine. Il forme chaque année deux volumes gr. in-8° de plus de 1000 pages avec nombreuses figures dans le texte. Abonnement annuel, Paris et Départements, 20 fr., Union postale, 22 fr.

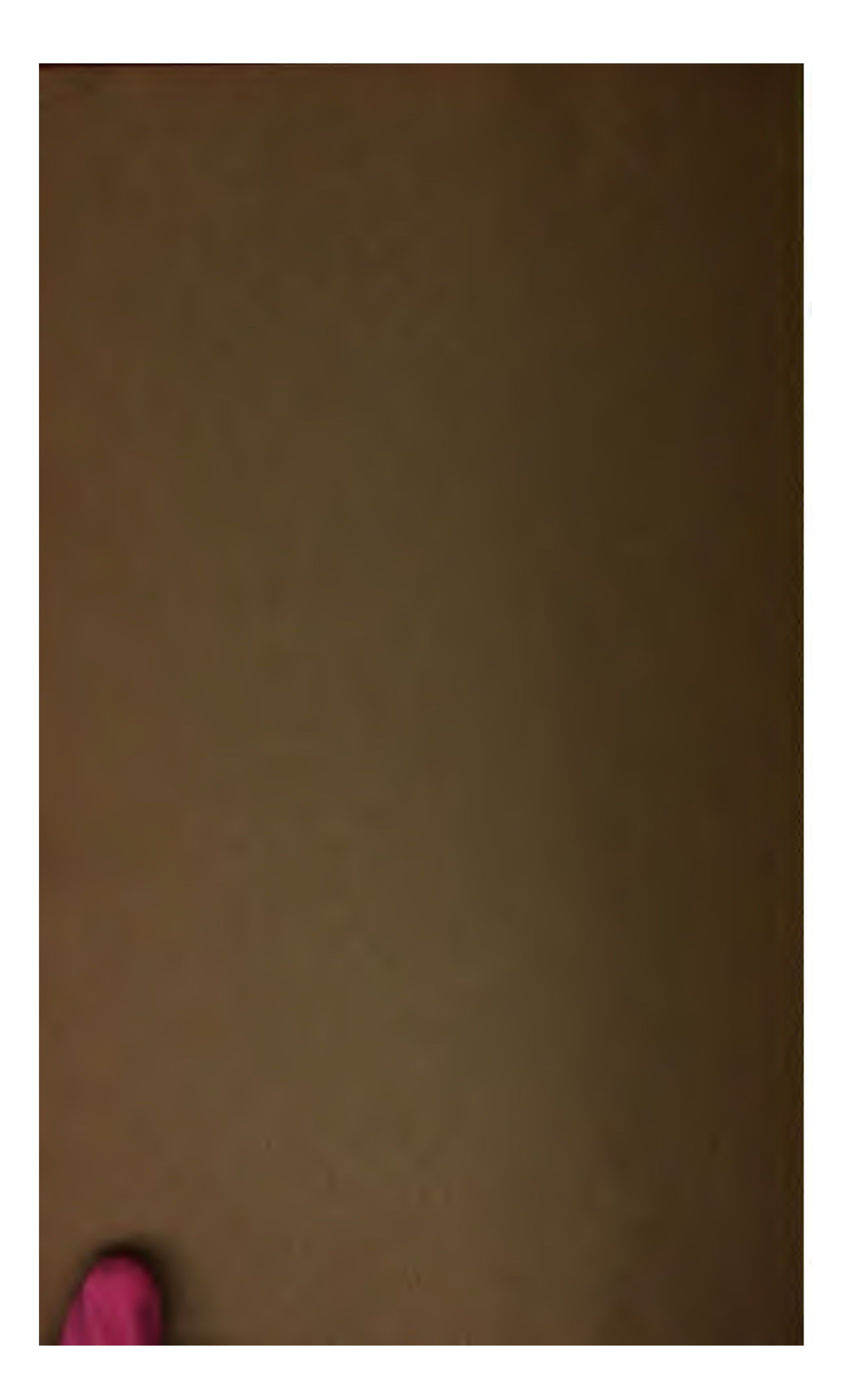
Traité d'analyse chimique quantitative, par R. Fresenius, professeur à l'Université de Wiesbaden. *Sixième édition française*, traduite sur la sixième édition allemande, par le Dr L. Gautier. 1 fort volume in-8 avec 251 figures dans le texte.................................. 16 fr.

Traité d'analyse chimique qualitative, par R. Fresenius, professeur de chimie à l'Université de Wiesbaden. *Neuvième édition française* rédigée d'après la seizième édition allemande, par le Dr L. Gautier. 1 volume in-8 avec figures dans le texte et une planche chromolithographiée.. 7 fr.

Traité d'analyse chimique quantitative par électrolyse, par J. Riban, professeur chargé du cours d'analyse chimique et maître de conférences à la Faculté des sciences de l'Université de Paris. 1 vol. gr. in-8 avec 96 figures dans le texte.................................... fr.

[illegible]. — Corbeil. Imprimerie Éd. Crété.






SEP 2 7 193[illegible]